

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**SISTEMA DE PRODUÇÃO SINCRONIZADO: UMA APLICAÇÃO  
EM PROCESSOS PRODUTIVOS DE PROPRIEDADE CONTÍNUOS  
SEGUNDO A TEORIA DAS RESTRIÇÕES**

**MIGUEL AFONSO SELLITTO**

**Porto Alegre, 1999**

ESCOLA DE ENGENHARIA  
BIBLIOTECA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**SISTEMA DE PRODUÇÃO SINCRONIZADO: UMA APLICAÇÃO EM  
PROCESSOS PRODUTIVOS DE PROPRIEDADE CONTÍNUOS  
SEGUNDO A TEORIA DAS RESTRIÇÕES**

MIGUEL AFONSO SELLITTO

Orientador:

Luiz Henrique Rodrigues

Banca Examinadora:

Dr. Cláudio Walter (PPGEP/UFRGS)

Dr. Gilberto Dias da Cunha (PPGEP/UFRGS)

Dr. José Antonio Valle Antunes Jr. (UNISINOS)

Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia apresentado  
ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção  
do título de Mestre em Engenharia – Profissionalizante

Porto Alegre, 1999

## AGRADECIMENTOS

Manifesto meus sinceros agradecimentos a:

- Prof. PhD dr. bel. adm. Luis Henrique Rodrigues, mais do que um orientador seguro e brilhante, um amigo e ponto de referência na construção deste trabalho e de suas decorrências pessoais e profissionais;
- Doutores da banca examinadora, pelas contribuições à forma final deste trabalho;
- Bel. Paulo Sergio Garcia, gerente geral da Cia. de Cimento Portland Gaúcho, no período 97-98, pelo apoio recebido e por compreender a importância do conhecimento na gestão da empresa atual;
- Profs. drs. engs. Lia Weber Mendes e Giancarlo Medeiros Pereira, da Unisinos, pelas precisas orientações, recomendações e encaminhamentos profissionais e acadêmicos;
- Grupos Gerdau e Votorantim, instituições genuinamente nacionais, onde forjei meu caráter profissional em vinte anos de atividade;
- Engº Químico Hélio Farenzena, consultor em processo de fabricação de cimento, de renome nacional, pelos ensinamentos recebidos em nossa profícua convivência;

- Eng<sup>o</sup> Mecânico Enio Kosciuk, pela amizade e companheirismo devotados ao longo de vários anos de profícua convivência profissional e acadêmica;
- Eng<sup>os</sup> Altair Klippel, Edson Zilio, Eduardo Biehl, Ivonir Petrarca, Luis Alberto Rodrigues, Rodrigo Souto, Ricardo Wastovsky, Adriana Tremarim, Léa Maria Gomes e bel. adm. Elóide Pavoni pelas atividades em conjunto que contribuíram para este trabalho, pela amizade e feliz convivência ao longo de nosso mestrado;
- Dr. Paulo Portich, pela amizade e exemplo de conduta demonstrada ao longo de nossa profícua convivência profissional e acadêmica;
- Elenco de professores, colegas e colaboradores do PPGEP-UFRGS;
- Intercorp Consultoria Empresarial, pelas facilidades editoriais disponibilizadas.



## DEDICA

*Questo lavoro va dedicato alla memoria di coloro che hanno destato in me l'amore profondo per lo studio e per il lavoro: mio padre SELLITTO PASQUALE e mio nonno SCHIFINO FRANCESCO CELIBERTO.*

*Va anche dedicato a colei che è stata la fedele ed immancabile testimone delle loro vicende: mia madre SELLITTO HILDA SCHIFINO.*

*Uno speciale riferimento va recapitato verso colei, la cui forza ha sfidato la forza del destino, e sarà senz'altro la più grande vincitrice in tutta questa vicenda: mia moglie SELLITTO VERA MARIA LAUTERT.*

*Un avvertimento rivolgo ai miei successori SELLITTO STEFANO ANTONIO e SELLITTO GIOVANNI ANTONIO, figli di mio fratello UMBERTO, perchè non manchino all'appuntamento sul sentiero del destino, ladove, dagli avi, ci siamo tutti ormai ritrovati: la via del trionfo.*

*SELLITTO MICHELE, Porto Alegre, 1999*

## SUMÁRIO

SUMÁRIO .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE QUADROS .....	xi
RESUMO .....	xiii
ABSTRACTS .....	xiv

### CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
1.2 TEMA .....	2
1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO .....	4
1.4 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	8
1.5 MÉTODO DE TRABALHO .....	8
1.6 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	9
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	10

### CAPÍTULO II

2. A PRODUÇÃO SINCRONIZADA: REFERENCIAL TEÓRICO .....	10
2.1 AS ABORDAGENS DE SINCRONIZAÇÃO DA PRODUÇÃO .....	10
2.1.1 A FILOSOFIA <i>JUST-IN-CASE</i> E A CONTABILIDADE DE CUSTOS .....	12
2.1.2 O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO .....	15
2.1.3 PLANEJAMENTO DAS NECESSIDADES DE MATERIAIS E DOS RECURSOS DE MANUFATURA: <i>MRP/MRP II</i> .....	18
2.1.4 A TECNOLOGIA DA PRODUÇÃO OTIMIZADA E A TEORIA DAS RESTRIÇÕES: <i>OPT/TOC</i> .....	21
2.1.5 SISTEMAS DE INDICADORES .....	24
2.1.6 RESUMO DAS ABORDAGENS DESENVOLVIDAS .....	25
2.2 O INVENTÁRIO EM AMBIENTE SINCRONIZADO .....	26
2.2.1 O INVENTÁRIO NO CONTEXTO EVOLUTIVO DA PRODUÇÃO .....	26
2.2.2 O INVENTÁRIO COMO PERDA .....	29
2.2.3 GIRO DE INVENTÁRIO .....	32
2.2.4 A PERDA FINANCEIRA ASSOCIADA AO INVENTÁRIO .....	34
2.3 A SINCRONIZAÇÃO DA PRODUÇÃO NO AMBIENTE DA <i>TOC</i> .....	37
2.3.1 O ALGORITMO TAMBOR-PULMÃO-CORDA .....	40
2.3.2 O ESTABELECIMENTO DA <i>TOC</i> .....	44
2.3.3 A <i>TOC</i> COMO MELHORIA CONTÍNUA NA ORGANIZAÇÃO .....	28
2.3.4 O PROCESSO DE MUDANÇA PELAS FERRAMENTAS DA <i>TOC</i> .....	50
2.4 A PRODUÇÃO SINCRONIZADA NA INDÚSTRIA DE PROPRIEDADE .....	52



2.4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE PROPRIEDADE.....	52
2.4.2 AS TRANSFERÊNCIAS LOGÍSTICAS NA INDÚSTRIA DE PROPRIEDADE.....	55
2.4.3 A AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL NA INDÚSTRIA DE PROPRIEDADE .....	57
<b>2.5 A SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA NO PROCESSO DE MELHORIA.....</b>	<b>61</b>
2.5.1 A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA GESTÃO DE ESTOQUES.....	63
2.5.2 A ESCOLHA DO SIMULADOR .....	65
2.5.3 A FERRAMENTA ESTATÍSTICA <i>ANOVA</i> .....	66
<b>2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....</b>	<b>67</b>

### CAPÍTULO III

<b>3. O CASO EM ESTUDO: O SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CIMENTO DO GRUPO VOTORANTIM NO RS.....</b>	<b>68</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>68</b>
3.1.1 CONCEITO DE CIMENTO .....	68
3.1.2 COMPOSIÇÃO DO CIMENTO .....	69
<b>3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CIMENTO .....</b>	<b>70</b>
3.2.1 MINERAÇÃO .....	72
3.2.2 MOAGEM DE CRU .....	73
3.2.3 CLINQUERIZAÇÃO .....	73
3.2.4 MOAGEM DE CIMENTO .....	76
3.2.5 ENSACAGEM .....	79
<b>3.3 NECESSIDADES LOGÍSTICAS.....</b>	<b>82</b>
3.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO E DOS INSUMOS .....	83
3.3.2 CENÁRIO ESTRATÉGICO DE ATENDIMENTO AO CLIENTE .....	83
3.3.3 CENÁRIO ESTRATÉGICO PARA A MATÉRIA-PRIMA .....	85
<b>3.4 ESTRUTURA PRODUTIVA E LOGÍSTICA DA ORGANIZAÇÃO.....</b>	<b>87</b>
3.4.1 A CADEIA PRODUTIVA .....	90
<b>3.5 GERENCIAMENTO INTEGRADO DAS CADEIAS LOGÍSTICA E PRODUTIVA</b>	<b>94</b>
3.5.1 LÓGICA DO EMBALAMENTO .....	94
3.5.2 LÓGICA DA FABRICAÇÃO.....	97
<b>3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....</b>	<b>98</b>

### CAPÍTULO IV

<b>4. INTRODUÇÃO DA PRODUÇÃO SINCRONIZADA NO CASO EM ESTUDO.....</b>	<b>100</b>
<b>4.1 APLICAÇÃO DO ALGORITMO TAMBOR-PULMÃO-CORDA NO CASO EM ESTUDO: TRÊS POSSÍVEIS ESTRATÉGIAS.....</b>	<b>100</b>
4.1.1 A BUSCA DA SOLUÇÃO .....	101
4.1.2 IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO ENCONTRADA.....	102
4.1.3 LIMITAÇÃO LINEAR DO INVENTÁRIO.....	105
4.1.4 LIMITAÇÃO DINÂMICA DO NÍVEL DE INVENTÁRIO.....	107
4.1.5 SINCRONIZAÇÃO TOTAL DA PRODUÇÃO.....	108
4.1.6 O ALGORITMO SHINGO PARA CÁLCULO DO NÍVEL DOS PULMÕES.....	109
4.1.7 A CADEIA PRODUTIVA SEGUNDO O ALGORITMO TPC .....	110
<b>4.2 A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA SOLUÇÃO PROPOSTA.....</b>	<b>115</b>
4.2.1 O MODELO E O MÉTODO EMPREGADO NA SIMULAÇÃO.....	115
4.2.2 A EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO .....	117
<b>4.3 RESULTADOS E ANÁLISE DA SIMULAÇÃO .....</b>	<b>121</b>

4.3.1 ANÁLISE PARA A ENTRADA DE MATÉRIA-PRIMA .....	122
4.3.2 ANÁLISE PARA A FALTA DE MATÉRIA-PRIMA .....	123
4.3.3 ANÁLISE PARA A FALTA DE CIMENTO POZ.....	124
4.3.4 ANÁLISE PARA A FALTA DE CIMENTO CP .....	126
4.3.5 ANÁLISE PARA A ENTREGA DE CIMENTO POZ .....	127
4.3.6 ANÁLISE PARA A ENTREGA DE CIMENTO CP .....	128
4.3.7 RESUMO DAS COMPARAÇÕES E CONCLUSÃO .....	130
<b>4.4 BENEFÍCIOS ESPERADOS COM A INTRODUÇÃO DA PRODUÇÃO SINCRONIZADA.....</b>	<b>131</b>
4.4.1 BENEFÍCIOS OPERACIONAIS QUANTIFICÁVEIS.....	131
4.4.2 BENEFÍCIOS OPERACIONAIS NÃO-QUANTIFICÁVEIS DIRETAMENTE .....	133
4.4.3 BENEFÍCIOS NÃO-TANGÍVEIS.....	134
<b>4.5 PLANO DE AÇÃO PARA INTRODUIR A PRODUÇÃO SINCRONIZADA.....</b>	<b>135</b>
4.5.1 A ÁRVORE DA REALIDADE FUTURA .....	135
4.5.2 A ÁRVORE DOS PRÉ-REQUISITOS .....	137
4.5.3 A ÁRVORE DA TRANSIÇÃO .....	141
<b>4.6 ESTABELECIMENTO DA MELHORIA CONTÍNUA.....</b>	<b>145</b>
<b>4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....</b>	<b>146</b>
 <b>CAPÍTULO V</b>	
<b>5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>147</b>
5.1 CONCLUSÕES.....	147
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	151
 <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>152</b>
<b>ANEXO A:DADOS E CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE DO CIMENTO .....</b>	<b>158</b>



## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1-1: Árvore da Realidade Atual da empresa analisada.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2-1: Diagrama de Dispersão de Nuvem do dilema do gerenciamento.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2-2: O impacto da vantagem competitiva.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 2-3: Sistema produtivo típico representado pelo TPC.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 2-4: O algoritmo TPC.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2-5: Dinâmica do pulmão de tempo.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 2-6: Classificação dos sistemas produtivos quanto à transformação.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 2-7: Hierarquia funcional da automação.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 2-8: Subordinação à redução de estoques em processo.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3-1: Fluxograma típico de uma unidade produtora de cimento.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 3-2: Processo de separação de cimento durante a fase de moagem.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 3-3: Fluxograma de processo de moagem.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 3-4: Cadeias logísticas da Votorantim no RS.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 3-5: Fluxograma parcial do sistema produtivo Votorantim no RS.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 3-6: Fluxograma parcial do sistema produtivo Votorantim no RS.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 3-7: Fluxograma parcial do sistema produtivo Votorantim no RS.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 3-8: Modelo de gerenciamento da cadeia produtiva de propriedade.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 4-1: Níveis de sincronização de pulmões para processos térmicos.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 4-2: Nível de matéria-prima com e sem o TPC.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 4-3: Limitação dinâmica do inventário.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 4-4: Oscilações dinâmicas de inventário.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 4-5: Representação sintética do sistema produtivo Votorantim no RS.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 4-6: Aplicação do algoritmo TPC na planta P. Machado.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 4-7: Aplicação do algoritmo TPC na planta Esteio.....</i>	<i>114</i>

<i>Figura 4-8: Modelo da simulação.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 4-9: Árvore da Realidade Futura do caso em estudo.....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 4-10: Árvore dos pré-requisitos, 1ª parte.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 4-11: Árvore dos pré-requisitos, 1ª parte.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 4-12: Árvore de transição, 1ª parte.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 4-13: Árvore de transição, 2ª parte.....</i>	<i>144</i>

## LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 2-1: Evolução dos giros típicos de inventário.....</i>	<i>33</i>
<i>Quadro 2-2: Perda financeira por excesso de inventário.....</i>	<i>36</i>
<i>Quadro 2-3: Exemplo de perda financeira por inventário.....</i>	<i>37</i>
<i>Quadro 2-4: Síntese comparativa entre indústria de forma e propriedade.....</i>	<i>54</i>
<i>Quadro 3-1: Composições dos cimentos participantes da análise.....</i>	<i>70</i>
<i>Quadro 3-2: Faixas de regulação do dispositivo check-weigher.....</i>	<i>81</i>
<i>Quadro 3-3: Atividades de produção.....</i>	<i>90</i>
<i>Quadro 4-1: Simbologia empregada no algoritmo TPC.....</i>	<i>111</i>
<i>Quadro 4-2: Dados coletados para simulação, parte 1.....</i>	<i>119</i>
<i>Quadro 4-3: Dados coletados para simulação, parte 2.....</i>	<i>120</i>
<i>Quadro 4-4: Distribuição probabilística das grandezas coletadas.....</i>	<i>121</i>
<i>Quadro 4-5: Níveis de inventário a serem testados.....</i>	<i>121</i>
<i>Quadro 4-6: Simulação de entrada de matéria-prima.....</i>	<i>122</i>
<i>Quadro 4-7: Anova para a entrada de matéria-prima.....</i>	<i>122</i>
<i>Quadro 4-8: Comparação múltipla de médias para a entrada de matéria-prima.....</i>	<i>123</i>
<i>Quadro 4-9: Simulação de faltas de matéria-prima.....</i>	<i>123</i>
<i>Quadro 4-10: Anova para a falta de matéria-prima.....</i>	<i>124</i>
<i>Quadro 4-11: Comparação múltipla de médias para a falta de matéria-prima.....</i>	<i>124</i>
<i>Quadro 4-12: Simulação de faltas de cimento POZ.....</i>	<i>125</i>
<i>Quadro 4-13: Anova para a falta de cimento POZ.....</i>	<i>125</i>
<i>Quadro 4-14: Comparação múltipla de médias para a falta de cimento POZ.....</i>	<i>125</i>
<i>Quadro 4-15: Simulação de faltas de cimento CP.....</i>	<i>126</i>
<i>Quadro 4-16: Anova para a falta de cimento CP.....</i>	<i>126</i>
<i>Quadro 4-17: Comparação múltipla de médias para a falta de cimento CP.....</i>	<i>127</i>



<i>Quadro 4-18: Simulação de entregas de cimento POZ.....</i>	<i>127</i>
<i>Quadro 4-19: Anova para entregas de cimento POZ.....</i>	<i>128</i>
<i>Quadro 4-20: Comparação múltipla de médias para a entrega de cimento POZ.....</i>	<i>128</i>
<i>Quadro 4-21: Simulação de entregas de cimento CP.....</i>	<i>129</i>
<i>Quadro 4-22: Anova para entregas de cimento CP.....</i>	<i>129</i>
<i>Quadro 4-23: Comparação múltipla de médias para a entrega de cimento CP.....</i>	<i>129</i>
<i>Quadro 4-24: Análise dos resultados simulados para entregas de cimento.....</i>	<i>130</i>
<i>Quadro A-1: Tipos, classes e composição dos cimentos Portland.....</i>	<i>157</i>

## RESUMO

Este trabalho de conclusão investiga o efeito da geração de estoques intermediários nos indicadores principais empregados na Teoria das Restrições (Ganho, Despesa Operacional e Inventário) em uma unidade industrial de processo produtivo de Propriedade contínuo, que emprega embalagens, matérias-primas obtidas em larga escala e cadeias logísticas de longo curso.

Este tipo de indústria produz bens de consumo imediato, com pouca variabilidade, de modo “empurrado”. A principal consequência é a perda do sincronismo na cadeia logística, resultando em uma grande quantidade de estoques intermediários e custos crescentes, relacionados principalmente ao custo de manutenção destes estoques.

Através dos cinco passos de focalização e das ferramentas lógicas da Teoria das Restrições, propõe-se uma alternativa gerencial, que inclui o algoritmo Tambor-Pulmão-Corda e insere a organização em um processo de melhoria contínua, cujos impactos são avaliados por simulação computacional.

Através de técnicas estatísticas e *software* apropriados, constroi-se um modelo de simulação computacional baseado em dados reais de uma planta produtora de cimento. A partir deste modelo, diferentes cenários são testados, descobrindo-se a condição ótima. Chega-se a uma conclusão, considerando a mudança na política de geração de estoques intermediários e seus impactos na redução de custos e riscos.

## ABSTRACTS

This work deals with the impacts of Work-In-Process in terms of the Theory of Constraints bottom line measures (Throughput, Operational Expenses and Inventory) specifically in a continuous process industry, which requires packaging, large-scale raw-materials extraction and long-run transport chain.

This kind of industry produces commodities, with little variability, in a push system from the raw-material sources to the packaging area. The main consequence is the lack of synchronization in the supply chain, resulting in a large amount of Work-In-Process and raising costs, mainly those related with inventory carrying costs.

Through the five steps of focusing and the logical tools of TOC, a management alternative is proposed, which includes the Drum-Buffer-Rope technique and leads the organization to an On-Going Improvement Process, which impacts are checked by computer simulation.

With a suitable statistical software, a simulation model based in real shop-floor data from a cement mill plant is created. Then, different scenarios are tested, leading to optimal preset conditions. A conclusion emerges, regarding the changing in Work-In-Process generation policies and its impacts on risks and costs.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A evolução social que as novas tecnologias, principalmente nos campos da informática, telecomunicações e automação, exigem da sociedade atual, associadas às derrubadas de fronteiras, conduzem a organização a reavaliar suas estratégias, de modo a conservarem-se competitivas em um ambiente que muda constantemente.

Exigências crescentes de produtividade não são recentes na história econômica da humanidade. Para ADAM SMITH (*apud* HUBERMAN, 1986), o aumento da produtividade ocorre com a divisão do trabalho, que é proporcional ao tamanho do mercado. Logo, em ambiente de livre mercado, a produtividade aumenta, incrementando a riqueza das nações. Núcleos de excelência localizados aumentam sua escala ao caírem restrições comerciais. *Players* locais competirão com *players* globais, em altos níveis de excelência, ou serão eliminados. Novos concorrentes penetrarão em mercados antes restritos, e agora atingíveis. PORTER (1986) descreve este cenário através de um modelo de forças competitivas, que salienta a preparação para a mudança, através dos fatores a seguir:

- **compradores:** com a abertura dos mercados e as novas tecnologias, possuem acesso a mercados internacionais antes inacessíveis;
- **fornecedores:** fornecedores de grandes clientes podem atingir novos mercados;

- **entrantes:** mercados lucrativos atraem a atenção de *players* até agora atuantes apenas em mercados remotos;
- **substitutos:** o desenvolvimento tecnológico e a consciência ecológica forçam a busca de alternativas a qualquer produto consolidado.

Por exemplo, aço e cimento, materiais historicamente visualizados como complementares, hoje concorrem diretamente, pois a mesma peça pode ser fabricada com os dois materiais.

Mudanças exigem compreensão do paradigma atual e vontade de rompê-lo. O conhecimento é formado, definido e consolidado por esquemas de ação perpetuados na construção e preservação do negócio. A solução de ontem influencia pessoas e desestimula mudanças, podendo ser o desastre de hoje ao transformar-se em doença terminal. Imobiliza a organização e impede que se vejam as modificações em trânsito (CHIAVENATTO, 1996). A troca de paradigma exige visão e coragem, sendo impossível julgar novas propostas sob o velho prisma, sem prévia mudança do referencial de julgamento<sup>1</sup> (CORBETT NETO, 1997). Para CORIAT (1994), a regra é pensar pelo avesso: partir do mercado para garantir permanentemente a adaptabilidade da empresa à mudança. Evidencia-se então a correlação entre a capacidade de romper paradigmas e a sobrevivência no contexto atual dos negócios.

## 1.2 TEMA

Deseja-se propor uma mudança de paradigma, passando-se a gerenciar a indústria de Propriedade com foco na redução de inventário. Neste ponto, caracterizem-se dois tipos de processos produtivos conforme as transformações no produto:

---

<sup>1</sup> Para WEICK (*apud* SHANK & GOVINDARAJAN, 1995), nossas crenças moldam nossas percepções. É preciso “crer para ver”.



- **Indústria de Forma:** modificam-se as dimensões e formas da matéria-prima, sendo o produto especificado por seu formato dimensional. O valor de uso está relacionado basicamente à precisão da forma (por exemplo, parafusos e arruelas). Típicos casos são as indústrias metal-mecânica e calçadista.
- **Indústria de Propriedade:** modificam-se as propriedades físico-químicas da matéria-prima, sendo o produto especificado por seu desempenho. O valor de uso está relacionado basicamente à precisão das propriedades (por exemplo, componentes químicos). Típicos casos são as indústrias petroquímica e cimenteira (HANSEN, 1996).

Propõe-se gerenciar a indústria de Propriedade com foco na redução de inventário para aumentar seu resultado financeiro, através de melhorias no fluxo de caixa, maior lucro líquido e maior retorno sobre o investimento. Verifica-se que a redução de inventário na indústria possibilita os seguintes benefícios específicos (GOLDRATT, 1991):

- posterga despesas de capital de giro;
- dispensa investimento em áreas de estocagem;
- reduz *lead-time* e investimento em áreas de acabamento e horas-extras devidas a atrasos;
- reduz custos de manutenção e movimentação de estoques;
- reduz tempo de lançamento de novos produtos, pela redução de estoques obsoletos;
- reduz perdas por contaminação e perecibilidade e permite o controle visual das operações no chão-de-fábrica.

Tendo em vista o acima exposto, o tema deste trabalho de conclusão será a análise de uma alternativa estratégica para reduzir inventário em indústria de Propriedade, considerando a adoção de indicadores adequados de resultado e as ferramentas lógicas de raciocínio da *TOC*.

### 1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

O ambiente no qual este trabalho foi desenvolvido é equivalente àquele caracterizado por GOLDRATT (1999), a partir de quatro efeitos indesejáveis, apontados a seguir:

- **Logística:** os inventários são muito altos;
- **Atendimento ao cliente:** existem excessos de reclamações;
- **Finanças:** o tempo de retorno dos investimentos é muito longo;
- **Recursos humanos:** a relação entre as pessoas é inadequada.

A Árvore da Realidade Atual<sup>1</sup> (ARA) é um instrumento adequado para a análise de tais situações. Através dela, associam-se os efeitos indesejáveis percebidos com as causas possíveis, em relações de causa e efeito, até surgir uma causa fundamental. A seguir, analisa-se a ARA para o ambiente global em estudo, segundo a Figura 1.1 (GOLDRATT, 1997).

Comportando-se as pessoas conforme são medidas (ente 510), a adoção do parâmetro de produção unitária ton/hora, como medida de resultado, faz cada departamento maximizar o mesmo (500). Como maximizam-se as toneladas por hora (515), e os departamentos têm desempenhos diferentes em itens diferentes (520), privilegiam-se os itens mais rápidos (540). Como equipamento parado (525) ou em *set-up* (530) não aumenta o indicador de toneladas por hora, processam-se pedidos antes da hora, fora da seqüência de entrega, para aumentar o tamanho do lote (550) ou para estoque (545). Como os processos são do tipo V (560)<sup>2</sup>, os departamentos tendem a usar indiscriminadamente as matérias-primas destinadas aos pedidos preferenciais, atrasando-os e acarretando perdas generalizadas (570).

---

<sup>1</sup> A ARA, o Diagrama de Dispersão de Nuvem, as Árvores da Realidade Futura, de Pré-Requisitos e de Transição são ferramentas lógicas de raciocínio baseadas em relações de causa e efeito criadas por Goldratt. A ARA usa entes, que são ações ou atitudes vigentes na organização e injeções, que são decisões externas tomadas para melhorar uma situação (GOLDRATT, 1999).

<sup>2</sup> Um material é empregado em diversos produtos, segundo um processo divergente no formato da letra V.



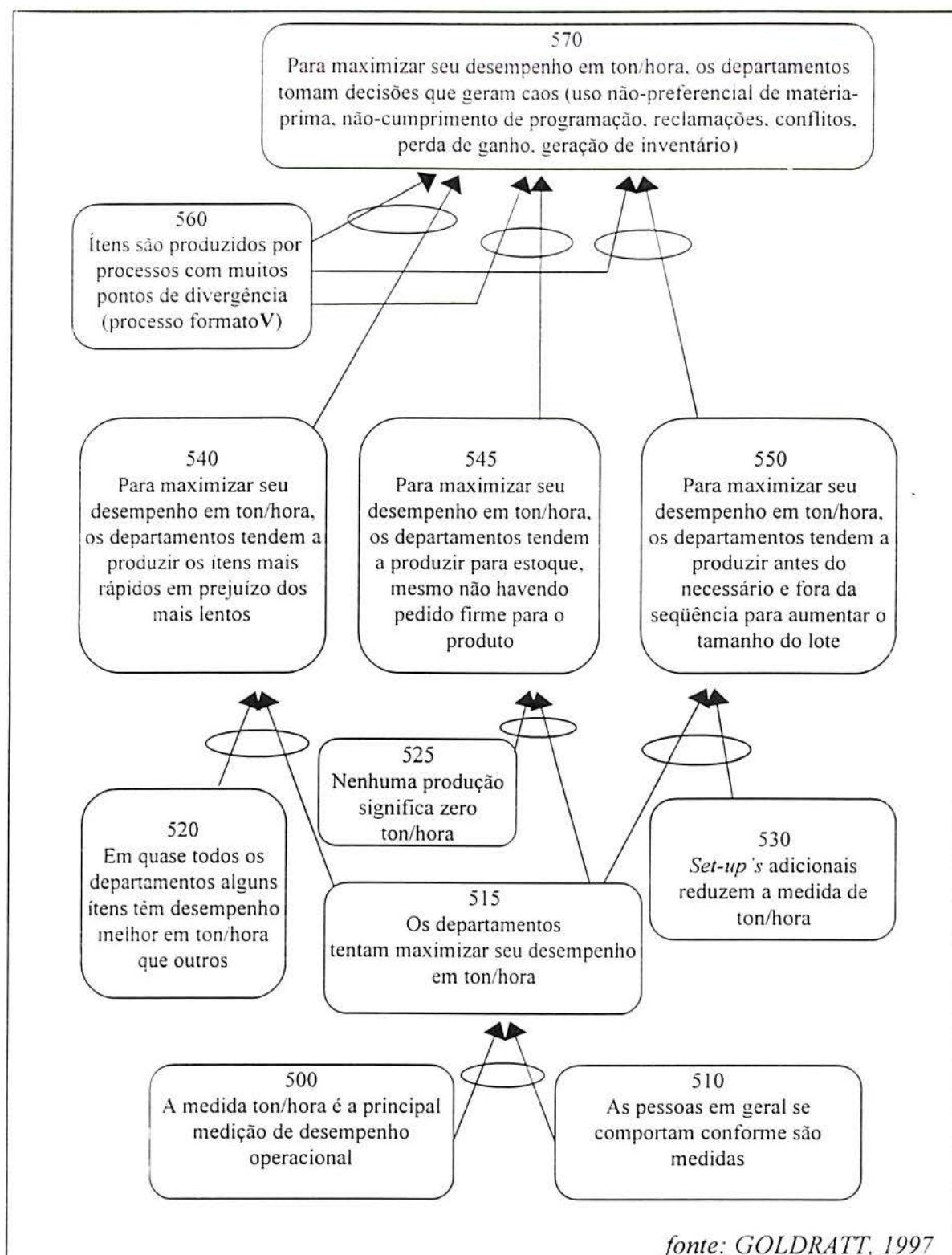


Figura 1-1: Árvore da Realidade Atual da empresa analisada

A indústria de Propriedade exige investimento em bens de capital, automação de processos e cadeia logística, e grande volume de capital de giro para o custeio de matérias-primas, embalagens, energéticos e operações. Decisões de redução de custos envolvem valores elevados, devendo ser analisadas através de cenários simulados. Dado ainda que a indústria de Propriedade produz bens do tipo *commodities*, onde, pela crescente diversidade e oferta, o mercado determina o preço, apenas a permanente redução de custos manterá ou aumentará o lucro, mantendo a empresa competitiva (SHINGO, 1996)<sup>1</sup>.

Para SHINGO (1996), o excesso de inventário esconde as ineficácias da organização e sua remoção mostra as oportunidades de melhoria. A redução do inventário causa duplo impacto no retorno sobre os investimentos e no fluxo de caixa e um impacto indireto no lucro líquido, pela redução das despesas ligadas a sua manutenção<sup>2</sup>. Obtêm-se a redução de inventário através da produção sincronizada (GOLDRATT, 1991).

A partir do exposto, justifica-se o tema desta dissertação pelos seguintes argumentos:

- a indústria de Propriedade exige alto volume de capital para sua operação;
- a competitividade da indústria de Propriedade está ligada à gestão de custos e ganhos;
- a redução de inventário na indústria de Propriedade é um fator de inovação e pode implementar esta gestão.

Saliente-se que a geração de inventário descrita no ente 545 é um efeito indesejável e que a produção sincronizada será aplicada para combater as causas que geram o problema.

---

<sup>1</sup> SHINGO (1996) descreve esta situação como princípio do não-custo, onde a equação ( $\text{Custo} + \text{Lucro} = \text{Preço}$ ) transforma-se em ( $\text{Lucro} = \text{Preço} - \text{Custo}$ ). YUKI (1997) relata uma terceira forma desta equação ( $\text{Custo} = \text{Preço} - \text{Lucro}$ ), onde a satisfação total do cliente exige capitais crescentes para pesquisa e desenvolvimento e gestão da inovação (novos produtos, aplicações, materiais, características ou embalagens (SAMSON, 1991)). A economia global e seus capitais voláteis torna também o lucro um valor de mercado: resta à organização ficar abaixo de um custo máximo permissível.

<sup>2</sup> A ARA ainda relaciona com a geração de inventário os efeitos indesejados geradores de despesas (ente 570).

## 1.4 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo global deste trabalho é testar a hipótese de que a produção sincronizada, aplicada à indústria de Propriedade, pode trazer os mesmos benefícios já obtidos na indústria de Forma, quanto a redução de Inventário e Despesas Operacionais e aumento de Ganho.

O objetivo global é desdobrado nos seguintes objetivos específicos:

- propor um modelo gerencial de melhoria contínua, com foco na redução de inventário, e empregando uma lógica de sincronização da produção para a indústria de Propriedade;
- mensurar os benefícios da redução de inventário na indústria de Propriedade;
- desenvolver uma proposta de mudança, testando o modelo gerencial proposto em um caso real, com o emprego de um modelo de simulação computacional;
- ampliação da literatura disponível sobre indústria de Propriedade no âmbito da Engenharia de Produção.

## 1.5 MÉTODO DE TRABALHO

Adotou-se o seguinte método de trabalho:

1. construção, a partir de livros, *papers* e revistas técnicas de Engenharia da Produção, Administração da Produção, Ciências Econômicas e Administrativas, Estatística e Tecnologia de Fabricação de Cimento, dissertações e notas de aula do PPGE- UFRGS (1998-99) e da especialização em Gestão da Qualidade da UNISINOS (1997), de um referencial teórico sobre o tema estudado;
2. análise empírica do tema estudado, incluindo estudos da realidade atual, reuniões com executivos, fornecedores e usuários de sistemas de informação, fornecedores de logística,



fabricantes de equipamentos de produção, automação industrial e logística e visitas a unidades industriais de processamento de Propriedade, pertinentes ao tema;

3. aprendizagem das ferramentas lógicas de raciocínio e processo de mudança da *TOC*, das ferramentas estatísticas *Anova* e comparação múltipla de médias, do *software Expertfix* para a modelagem do caso e do simulador *Micro-Saint* para a simulação computacional;
4. concepção da abordagem, empregando o processo de gerenciamento da mudança pela *TOC*, iniciando com a descrição do problema e busca da solução pelas ferramentas de raciocínio da *TOC*, teste da mesma por técnicas de modelagem, simulação e verificação estatística e implantação da solução encontrada, novamente pelas ferramentas da *TOC*;
5. desenvolvimento de um estudo e uma proposta de mudança, segundo a concepção acima, e baseada em experiências anteriores e nos conhecimentos adquiridos;
6. formatação final do trabalho.

## 1.6 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho de conclusão terá como delimitações:

- aplicação em processo produtivo *Just-in-Case* de Propriedade contínuo, onde se ocupa ao máximo a estrutura produtiva para a geração de inventário, seja sob a forma de produto intermediário ou acabado, independente da venda, otimizando-se um indicador de resultado do tipo ton/hora;
- emprego exclusivo do simulador *Micro-Saint*, por ser o simulador disponível no PPGEF-UFRGS e ser adequado ao objetivo desta dissertação;
- escopo da simulação limitado às etapas restritivas do sistema e sua influência no Ganho e Despesas Operacionais, excluindo-se a análise quantitativa do Fluxo de Caixa, por não ser

possível a divulgação das informações financeiras da empresa analisada e excluindo-se as etapas não-restritivas, devido a sua pequena influência no resultado global;

- simulação de um cenário, testado em quatro situações de inventário máximo, definido de forma linear. Sugeriram-se duas variações de cenário para trabalhos futuros;
- análise do problema da mudança do paradigma exclusivamente pelo enfoque das ferramentas da *TOC*, buscando-se a solução pelos cinco passos de focalização de problemas e gerenciando-se sua implantação através da abordagem de GOLDRATT (1999) para as camadas de resistência às mudanças.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho de conclusão está dividido em cinco capítulos.

O **capítulo 1** apresenta as considerações iniciais, o tema, justificativa, objetivo, método, delimitações e estrutura do trabalho.

O **capítulo 2** apresenta um referencial teórico do tema. Inclui uma visão global e conceitos necessários à introdução da produção sincronizada em uma unidade de processamento de Propriedade contínuo, que formará o argumento principal do trabalho.

O **capítulo 3** descreve o ambiente e os dados reais em que será desenvolvido o trabalho: o sistema produtivo de cimento do grupo Votorantim no RS.

O **capítulo 4** busca a solução pelas ferramentas de raciocínio e processo de mudança da *TOC*, testa-a por modelo de simulação computacional e alteração no cenário, apresenta e analisa os resultados pela *anova* e comparação múltipla de médias, analisa as implicações e propõe plano de ação para a mudança.

O **capítulo 5** apresenta as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO II

### 2. A PRODUÇÃO SINCRONIZADA: REFERENCIAL TEÓRICO

Empregam-se conceitos teóricos diversos neste trabalho, que justificam a construção deste referencial. A seguir, descrevem-se os elementos necessários para construir o argumento principal desta dissertação, que é a necessidade e a possibilidade de redução de inventário na indústria de Propriedade.

#### 2.1 AS ABORDAGENS DE SINCRONIZAÇÃO DA PRODUÇÃO

A evolução do gerenciamento da produção modificou o gerenciamento dos inventários e a abordagem de sincronização da produção. Introduce-se o assunto descrevendo os paradigmas de produção *JIC*, *JIT* e *TOC* (ANTUNES JR., 1994). Na sequência, parte-se da filosofia *JIC* e sua ligação com a Contabilidade de Custos, chegando-se às técnicas que modificaram a função do inventário na evolução do gerenciamento da produção<sup>1</sup>.

São os seguintes os paradigmas da produção:

- **JIC:** Produz segundo a máxima capacidade de produção de seus recursos, antecipando a demanda futura sob a forma de estoques entre postos de trabalho. Não são desenvolvidos esforços nem para balancear as capacidades nem para eliminar as variabilidades, ao se operar sempre na máxima capacidade, de modo desconexo entre os recursos. Segundo GOLDRATT (1991), o ritmo de produção é ditado pela capacidade excessiva do primeiro processo, resultando proteção das vendas e inventário consideravelmente mais alto.



- **JIT:** Exige planta com produção balanceada, age para diminuir variabilidade no processo e atribui pequenos estoques de material em processo na frente de cada centro produtivo, para proteger o sistema das incertezas e variabilidades dos processos de fabricação. Atingindo-se este estoque, o processo precedente é interrompido. Apesar de permitir um estoque em processo ao longo de toda a cadeia produtiva, o *JIT* não oferece uma boa proteção contra as incertezas no fluxo de material. A manutenção de estoques pequenos em frente a cada posto de trabalho põe em risco o ganho do sistema sempre que houver uma interrupção significativa no processo produtivo. Considera todos os postos de trabalho igualmente importantes e, através de ferramentas e técnicas de solução de problemas, busca a melhoria contínua de seus processos e procedimentos, eliminando todo desperdício.
- **TOC:** Considera que poucos elementos são realmente importantes (as restrições), pois apenas estes limitam o desempenho de todo o sistema. Prioriza ações de melhoria onde realmente há impacto no aumento do ganho da organização, fazendo uso de suas próprias ferramentas. Por definição, os recursos não-restritivos têm excesso de capacidade em relação à demanda requerida, tendo condição de se recuperarem das interrupções no fluxo de material sem prejudicar o rendimento global do sistema. Os únicos elementos que devem ser protegidos por acúmulos de inventários que previnam contra interrupções, chamados de pulmões, são os recursos restritivos (COOK, 1994).

---

<sup>1</sup> Sistema Toyota de Produção, *MRP/MRP II* e *OPT/TOC*.



### 2.1.1 A FILOSOFIA *JUST-IN-CASE* E A CONTABILIDADE DE CUSTOS

Análise-se o gerenciamento do tipo *Just-in-Case* e suas ligações com a Contabilidade de Custos. Em uma interpretação literal, associa-se ao termo *JIC* uma idéia como: 'caso for necessário, estará pronto', o que difere de 'quando for necessário estará pronto', associado ao *JIT*. A diferença entre os dois enfoques está em que, no *JIT*, pode-se antecipar a produção de um bem de consumo sazonal, que sabe-se que será demandado no futuro em quantidade maior que a capacidade total de produção. No *JIC*, antecipa-se indefinidamente a produção, não por haver demanda garantida, mas para não parar as máquinas<sup>1</sup>. Protege-se o ganho presente às custas do ganho futuro, sacrificado pela desvantagem competitiva gerada pelo aumento de despesas operacionais.

Posto isto e examinando-se a organização, observa-se:

- inventário consideravelmente mais alto do que o necessário, como efeito;
- adoção da contabilidade de custos, como causa da filosofia *JIC*.

A contabilidade de custos é um instrumento gerencial criado no início do século XX, quando a mão-de-obra direta era variável, pois o salário era pago por peça produzida e havia poucas despesas administrativas fixas. O custo unitário de uma peça era calculado pela adição do custo da matéria-prima, da mão-de-obra direta e da despesa indireta de fabricação e demais rateios, que escassamente atingiam 5% do total (NOREEN *et alli*, 1996)<sup>2</sup>. Com a evolução da manufatura, os trabalhadores passaram a receber por hora trabalhada, as organizações tornaram-se muito mais complexas e, com o desenvolvimento da automação, pesquisa e desenvolvimento e serviços, a parcela de custos fixos a ser rateada cresceu, atingindo até 40%

---

<sup>1</sup> Para GOLDRATT (1991, pag. 82), "quando um operário não tem trabalho, encontra-se mais material para ele trabalhar". Para a indústria de Propriedade, este mote pode ser adaptado para: "quando uma máquina não tem trabalho, encontra-se mais material para ela processar".

<sup>2</sup> Na indústria de Propriedade, alastram-se as implicações do uso da contabilidade de custos, pois custos unitários também são alocados a produtos intermediários, sendo base para decisões em processos auxiliares.

do total dos custos apurados. A remuneração, mesmo se calculada em base horária, hoje é paga em base mensal, pois a legislação trabalhista não permite a dispensa de trabalhadores quando não há serviço. Ou seja, a mão-de-obra direta tornou-se custo fixo. O custo do horista hoje é mais fixo do que o custo de gerentes e diretores que recebem adicionais por resultados (FULMANN, prefaciando NOREEN *et alli*, 1996).

Para CORBETT NETO (1997), porém, a organização hoje deve ser entendida como um ente gerador de produtos e custos, não sendo possível alocar com precisão que parcela dos custos corresponde a cada produto. Para controle gerencial, deve-se atribuir a cada produto apenas o custo totalmente variável, ou seja, o valor que deixará de ser gasto se uma unidade do produto deixar de ser fabricada. As demais despesas devem ser computadas como despesas operacionais e sua redução deve ser objetivada através de ações locais que tragam resultados globais.

CORBETT NETO (1997, pag. 179) escreve:

“O problema-raiz da contabilidade de custos é o seu embasamento nos ótimos locais, que faz com que seja necessário alocar os custos aos produtos, criando a figura do custo do produto. A contabilidade de ganhos<sup>1</sup> atacou o pressuposto de que ótimos locais levam ao ótimo global. .... Na contabilidade de ganhos não se calculam custos de produtos, mas sim o impacto de cada decisão no resultado final da empresa.”

CORBETT NETO (1997, pag. 180) conclui:

“Hoje o que salva a maioria das empresas é o fato de que seus concorrentes também usam o custo do produto para tomar decisões. Mas algumas

---

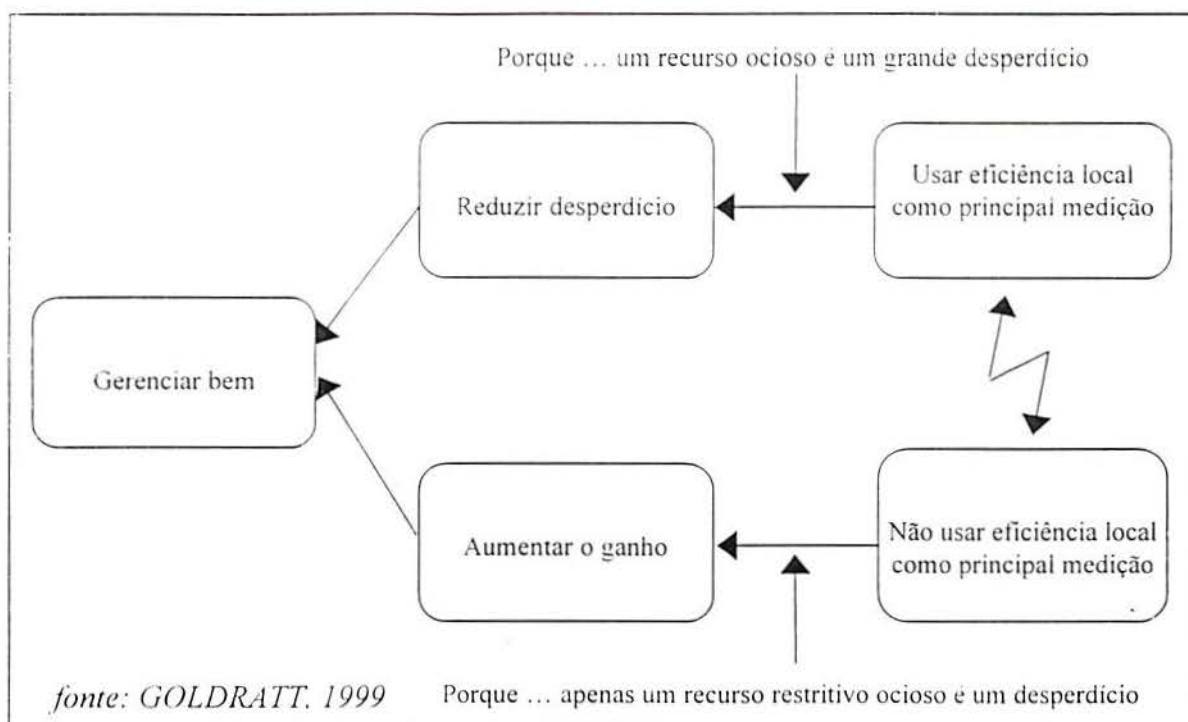
<sup>1</sup> Contabilidade de ganhos é um conjunto de medições e demonstrativos contábeis propostos por Goldratt como alternativa à contabilidade de custos hoje praticada em nossas empresas.

empresas já estão mudando. o que dá a elas uma grande vantagem competitiva. A história têm mostrado que os que inovam se mantêm na liderança. os que ficam parados morrem.”

Ao confrontar-se como acima o pensamento *JIC* (mundo dos custos) com o pensamento *TOC* (mundo dos ganhos) chega-se a uma situação de conflito. O Diagrama de Dispersão de Nuvens (DDN), ilustrado na figura 2.1, é a ferramenta da *TOC* adequada para lidar com tais situações.

No DDN, parte-se de um objetivo calcado em duas condições intermediárias, geradas por duas condições contraditórias, encontrando-se o conflito que se quer eliminar. No caso ilustrado, o objetivo é gerenciar adequadamente, o que exige duas condições: o controle de custos e o aumento de ganho. Controlam-se custos ao reduzir desperdícios e aumentar as eficiências locais. Protegem-se ganhos ao aumentar a eficácia global. Estas duas visões estão em conflito, pois uma exige medir a eficiência local e a outra exige não medir a eficiência local. Para resolvê-lo, é preciso determinar qual dos pressupostos subjacentes às visões é inadequado. Por trás da visão da eficiência local está o pressuposto de que um recurso ocioso é um desperdício. Por trás da visão da eficácia global está o pressuposto de que apenas um recurso restritivo ocioso é um desperdício. Caso os recursos não-restritivos produzam segundo a máxima eficiência, o recurso restritivo não conseguirá processar toda a produção gerada. O excedente será estocado, tornando-se inventário e aumentando o custo, ao invés de reduzi-lo. Prova-se então que o pressuposto superior é inadequado para o objetivo de gerenciar bem, adotando-se a eficácia global como referencial de desempenho.





**Figura 2-1: Diagrama de Dispersão de Nuvem do dilema do gerenciamento**

### 2.1.2 O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

Em oposição ao *JIC*, surgem as filosofias *JIT*, principalmente no Japão. Conforme GHINATO (1996), antes da ocupação americana, a estrutura industrial do Japão era fortemente influenciada pelos *zaibatsus*. Estes eram conglomerados de empresas, de propriedade familiar, constituídas por uma empresa central (geralmente um banco) e de vinte a trinta organizações periféricas. Ao fim da guerra, a dissolução dos *zaibatsus* resultou em democratização do capital (ISHIKAWA, 1993). Durante o pós-guerra, em função do avanço comunista no extremo oriente, interessou às potências ocidentais e principalmente aos EUA, reestabelecer o Japão como potência industrial. Sob a tutela americana, representada pelo general Douglas

McArthur, o Japão foi a base avançada capitalista no extremo-orient (GHINATO, 1996). Dentro desta reconstrução, técnicas de controle estatístico de processos, desenvolvidas nos EUA, foram transportadas ao Japão, principalmente através de W.E. Deming, estatístico americano, e de Juran e Feigenbaum. Deming apresentou um seminário de oito dias em 1950, focando o problema da variabilidade, e separando suas causas em causas especiais e causas comuns. A abordagem de Deming para a solução de problemas foi chamada de ciclo *PDCA*<sup>1</sup>. Apoiada em ferramentas estatísticas simples, gerou o sistema conhecido por *CWQC*<sup>2</sup>, ou *TQC* (Controle da Qualidade Total), baseado em elementos de várias fontes, como o cartesianismo, o taylorismo e o controle estatístico de processos (FALCONI, 1992). A *JUSE*<sup>3</sup> e seu secretário Kaoru Ishikawa desempenharam importante papel na divulgação e consolidação do *TQC*. Seus esforços em treinar operadores resultaram nas atividades de pequenos grupos (*CCQ's*<sup>4</sup>). Outros elementos introduzidos pelo *TQC* são a idéia da melhoria contínua e da orientação pelo cliente (MARTINS, 1997). Para MIZUNO (*apud* MOURA, 1992), as empresas, para se manterem competitivas, precisam incorporar inovações aos produtos e serviços, oferecendo valor adicional e indo além do simples atendimento das necessidades do cliente. Para YUKI (1997), esta visão gerou técnicas como o *QFD* (Desdobramento da Função Qualidade).

ISHIKAWA (1993) reconhece a insatisfatoriedade dos métodos de inspeção de qualidade baseados em níveis de qualidade aceitável (NQA) entre 1 e 0,5% para organizações que busquem qualidade a nível de PPM (Partes Por Milhão). SHINGO (1996) observa que os métodos americanos de Controle Estatístico da Qualidade, apesar de baseados em técnicas

---

<sup>1</sup> *Plan, Do, Check, Action*: Planejar, executar, verificar, agir

<sup>2</sup> *Company Wide Quality Control*: Controle de qualidade por toda a empresa, proposto por Feigenbaum

<sup>3</sup> União dos cientistas e engenheiros japoneses

<sup>4</sup> Círculos de controle de qualidade

racionais, não eram suficientes para obter produção isenta de defeitos. Propõe então o CQZD (Controle de Qualidade Zero Defeito<sup>1</sup>), baseado em quatro pontos:

1. Inspeção na fonte, aplicando a função controle na origem do defeito
2. Inspeção 100% e não por amostragem
3. Redução do tempo entre a detecção da falha e a ação corretiva
4. Reconhecimento de possíveis erros de trabalhadores, prevenidos por *poka-yokes*<sup>2</sup>

O CQZD é um dos aspectos de um sistema de gerenciamento de produção mais amplo, proposto por Ohno e Shingo: o **Sistema Toyota de Produção (STP)**.

Taiichi Ohno, em viagem aos E.U.A., verificou que os supermercados americanos repunham os estoques de produtos nas prateleiras na exata medida de seus consumos. Esta idéia, transposta para a fábrica, permitiu uma operação nivelada entre os postos operativos, onde o posto precedente repõe apenas as peças certas, na quantidade certa e no momento em que o posto sucessivo as consumiu, prevenindo a formação de estoques entre processos (OHNO, 1996). O sistema de “puxar” a produção a partir da demanda é conhecido por *kanban*, nome dado aos cartões que autorizam a produção e movimentação dos itens (CORREA & GIANESI, 1994). O *kanban* pode ter uso estrito como gerenciador de produção de chão-de-fábrica, mas também pode oportunizar o processo da melhoria contínua, na medida em que sua continuidade de uso aponta as posições onde ocorrem faltas de material e por via de consequência as oportunidades de melhoria. (SHINGO, 1996).

O Sistema Toyota de Produção foi forjado ao longo de vinte anos, incorporando conceitos oriundos da genialidade de seus dirigentes (GHINATO, 1996). Entre os conceitos desenvolvidos, pode-se citar:

- A abordagem sistemática dos cinco porquês para a causa fundamental dos problemas;

---

<sup>1</sup> A expressão “Zero Defeito” foi cunhada na Martin-Marietta Corporation, onde trabalhava Crosby, nos EUA., em 1962 (GHINATO, 1996).

<sup>2</sup> Dispositivo a prova de falhas que evita que um erro na fonte se transforme em defeito (GHINATO, 1996).



- Automação (*Jidoka*), que estabelece uma estratégia para proporcionar autonomia à máquina para parar a linha em caso de produção defeituosa, ligada à separação entre homem e máquina e obtida pela multifuncionalidade de operadores e *lay-out* celular;
- O *Just-in-Time*, apoiado no *kanban*, que reduz os estoques intermediários, fornecendo os materiais no local, na hora, na qualidade e na quantidade necessária;
- As sete perdas descritas por Shingo, com base no princípio da completa eliminação de perdas, de Ohno, originado no desafio de Kiichiro Toyoda, de alcançar a competitividade industrial da América em três anos.

Para OHNO (*apud* CORIAT, 1994), o STP repousa sobre dois pilares:

- A Produção *Just-in-Time*;
- A Automação.

O STP persegue a completa eliminação das perdas, vinculado ao objetivo da redução de custo, fundamental à sobrevivência da organização. O STP busca maximizar o trabalho que agrega valor ou seja, aquele trabalho que transforma o material ou faz uma montagem, e reduzir progressivamente o trabalho que não agrega valor, abolindo toda forma de perda (GHINATO, 1996). OHNO (1996) considera que a perda por superprodução é a pior das perdas, pois esconde e evita que sejam combatidas ineficiências por toda a empresa, surgindo os efeitos danosos originados do excesso de estoques<sup>1</sup>.

A superprodução se dá por produção excessiva e por produção antes da hora, sendo a perda mais perseguida na Toyota (GHINATO, 1996). Um efeito importante da redução do estoque em processo é a redução do tempo de atravessamento. Como não se produzem lotes maiores do que os necessários, o tempo de fila antes de cada processo se reduz, caindo o tempo de atravessamento total. Com a Troca Rápida de Ferramentas (TRF), os tempos de *set-up* podem

---

<sup>1</sup> Para GOLDRATT (1991), o enfoque de Ohno trouxe um substancial aumento no padrão de vida do Japão e a perda da posição hegemônica de muitas indústrias ocidentais.



ser reduzidos a tal ponto que não é vantagem aumentar o lote (SHINGO, 1996). Para CORIAT (1994), o Sistema Toyota não é uma técnica de produção com estoque zero. Este é apenas um dos resultados a que ele conduz, perseguindo um objetivo muito mais geral, que é a prevenção das perdas. Ohno parte da redução do estoque para descobrir o excesso de pessoal e racionalizar a produção.

### **2.1.3 PLANEJAMENTO DAS NECESSIDADES DE MATERIAIS E DOS RECURSOS DE MANUFATURA: *MRP/MRP II***

Ainda dentro da idéia de mínimo inventário em processo, e a partir da disponibilidade de suporte computacional de grande porte, desenvolveram-se o *MRP* (planejamento das necessidades de materiais) e o *MRP-II* (planejamento dos recursos de manufatura). Segundo CORREA & GIANESI (1994), o *MRP-II* é uma técnica de gestão que permite o cálculo, viabilizado pelo uso do computador, das quantidades e dos momentos em que são necessários os recursos de fabricação (materiais, pessoas, equipamentos, etc.), para que se cumpram os programas de entrega dos produtos, com um mínimo de formação de estoques. Para SAMSON (1991), o *MRP/MRP-II* é o processamento de grande quantidade de dados, traduzindo ordens de fabricação e previsões em um programa de produção, requisitos de capacidade, recursos financeiros e compras.

O cálculo dos componentes segue o roteiro:

1. Parte-se das necessidades de entrega (quantidades e datas) e da estrutura dos produtos
2. Calculam-se para trás no tempo as datas em que as etapas do processo de produção devem começar e acabar
3. Determinam-se os recursos e quantidades necessários para cada etapa

A lógica do cálculo de necessidades era conhecida, porém só foi aplicada em fabricação complexa a partir dos computadores de grande porte. Partindo-se de um plano de produção de um produto final, gera-se um plano de compras e um plano de produção de itens componentes, escalonando-se datas e recursos conforme a estrutura de produto e o roteiro de fabricação. A partir da necessidade bruta e do estoque disponível, gera-se a necessidade líquida, cuja compra ou fabricação será ativada em um tempo igual à sua real necessidade, menos o *lead-time* do suprimento (CORREA & GIANESI, 1994). O *MRP-II* é um sistema de gerenciamento da fabricação onde os planos de produção são detalhados até se chegar aos níveis de componentes e recursos. Normalmente, o *MRP-II* é encontrado em forma de pacotes de *software*, cuja estrutura em geral segue os seguintes módulos:

1. Planejamento agregado de produção: estabelece o nível agregado de estoque e capacidade, empregando uma previsão de demanda agregada
2. Planejamento mestre de produção: estabelece um plano de produção de produtos finais, dentro de um período definido
3. Cálculo de necessidades de materiais: estabelece a posição de produção e estoque de cada item de matéria-prima, semi-acabado e acabado, no período
4. Cálculo de necessidades de capacidades: estabelece a capacidade produtiva interna ou externa para atender às necessidades de materiais
5. Controle de chão-de-fábrica: estabelece o seqüenciamento das ordens de fabricação pelos postos operativos, no chão-de-fábrica, no período

No *MRP-II* a tomada de decisão é centralizada, sobrando pouco espaço para ajustes locais. É passivo, no sentido que aceita parâmetros como tempos de *set-up's* e *lead-times*, níveis de estoque de segurança, refugos e retrabalhos sem questioná-los ou sem disparar um mecanismo de melhoria destes parâmetros. Por outro lado, reage bem a mudanças, fator decisivo na competitividade atual da produção (CORREA & GIANESI, 1994). Para GOLDRATT (1988),

o *MRP-II* teve papel importante na evolução do gerenciamento da produção, pois foi possível aproveitar suas estruturas de dados já informatizadas na implantação de sistemas mais avançados de gerenciamento.

#### 2.1.4 A TECNOLOGIA DA PRODUÇÃO OTIMIZADA E A TEORIA DAS RESTRIÇÕES: *OPT/TOC*

O surgimento e a evolução da *OPT* e posteriormente da Teoria das Restrições estão ligadas à obra de seu criador, o doutor em física israelense Eliyahu Goldratt. Quando Cox e Goldratt escreveram “A Meta” em 1984, suscitaram importante discussão sobre os sistemas de produção (SPEARMAN, 1997). Portanto, ao descrever-se a abordagem da *OPT/TOC* para a sincronização da produção e gerenciamento de inventário, julga-se relevante também analisar a obra de Goldratt e sua inserção no gerenciamento da produção.

Goldratt entrou na Administração da Produção de modo ocasional, ao desenvolver um sistema de programação de produção para um amigo proprietário de uma fábrica. Apercebendo-se que havia criado uma nova forma de resolver um grande problema, estendeu sua técnica a outros tipos de produção, formalizando-a no *software OPT*. A cada nova versão, Goldratt incorporava melhorias surgidas em problemas reais, embasadas em princípios lógicos de causa-efeito, normalmente negligenciados pelo pensamento tradicional nas ações rotineiras do gerenciamento da produção. A formalização destes princípios constituiu o pensamento *OPT*<sup>1</sup> (RODRIGUES, 1998).

Para divulgar este conhecimento e seu correspondente *software*, além de palestras no mundo acadêmico, Goldratt apresentou suas idéias através de uma novela atraente ao leitor,

---

<sup>1</sup> Distingam-se o *software OPT* e a tecnologia ou pensamento *OPT*, sendo que o primeiro automatiza a aplicação dos conceitos compilados no segundo (RODRIGUES, 1998)



conduzindo-o, pelo modo socrático, à descoberta dos princípios da *OPT*. Goldratt também desenvolveu um simulador de uma fábrica para microcomputador, sob a forma de um jogo, o *OPT game*, no qual a aplicação dos princípios da *OPT* são exigidos durante a operação de uma unidade industrial (RODRIGUES, 1998). A partir de alterações na lógica introduzidas no *software OPT*, em 1985, Goldratt publica o livro 'A Corrida', no qual introduz, de modo didático e adequado ao estudo em grupos de trabalho, o algoritmo Tambor-Pulmão-Corda (TPC) de sincronização da manufatura. Neste ponto, estabelece-se a lógica de só se aceitar inventário na frente do recurso restritivo e sincronizar a este os recursos não-restritivos.

A *OPT* está embasada na seguinte máxima (RODRIGUES, 1998):

- **“A SOMA DOS ÓTIMOS LOCAIS NÃO É IGUAL AO ÓTIMO GLOBAL”**

e que traz os seguintes questionamentos:

- Quem governa o ótimo global?
- Como saber se se está na direção do ótimo global?
- Que ações locais aumentam o ótimo global?

Os fundamentos teóricos da *OPT* respondem a estas questões.

GOLDRATT (1999) define a meta das empresas com fins lucrativos como:

- Ganhar dinheiro hoje e no futuro;
- Satisfazer seus clientes hoje e no futuro;
- Satisfazer seus dependentes<sup>1</sup> hoje e no futuro.

Para cumprimento da meta, definem-se dois indicadores e uma situação necessária:

- **Lucro líquido**, indicando a remuneração da empresa no presente;
- **Retorno sobre investimento (ROI)**, indicando a remuneração da empresa no futuro;
- **Fluxo de caixa**, necessário para manter a capacidade de ação da empresa.

---

<sup>1</sup> Empregados, terceiros, vendedores, distribuidores e demais interessados na empresa.



A partir desta situação, Goldratt define três elementos de ligação ou parâmetros operacionais, que auxiliam na orientação das ações locais em direção à meta da empresa (RODRIGUES, 1998):

- **Ganho:** Taxa na qual o sistema gera dinheiro através das vendas. Se definido como ganho unitário, é o incremento de dinheiro gerado na venda de uma unidade adicional do produto. É definido como (preço de venda - custo totalmente variável), onde este último é o montante de custo que varia para uma unidade produzida (CORBETT NETO, 1997).
- **Inventário:** Todo o dinheiro que a empresa investe em compras de materiais e imobilizados que serão necessários para gerar vendas no futuro (matérias-primas, equipamentos, construções, instalações, etc.).
- **Despesas operacionais:** Todo o dinheiro gasto para, a partir do inventário, gerar ganho.

Matematicamente:

- **Lucro líquido** = ganho - despesas operacionais
- **ROI** = lucro líquido / inventário

Para julgar se uma ação local aproxima a organização de sua meta, deve-se avaliar se esta ação conduz a aumento do ganho, redução de inventário e despesas operacionais, ou a uma combinação favorável destas, que aumente o lucro líquido, o ROI e favoreça o fluxo de caixa.

CORBETT NETO (1997) propõe uma hierarquização dos três parâmetros, priorizando o aumento de ganho, seguido da redução do inventário e da redução das despesas operacionais.

Observa que, em um processo de melhoria contínua, o aumento de ganho é ilimitado, ao passo que as demais reduções só podem atingir a zero. Adicionalmente, a redução de *lead-time*, causada pela redução de inventário, traz reflexos tão relevantes no atendimento ao mercado, conforme evidenciado pelo *JIT*, que a torna prioritária ante às despesas operacionais.

GOLDRATT (1999), inclusive, propõe como atitude estratégica, após as melhorias, a não-

redução das despesas operacionais através da redução de mão-de-obra, mas seu emprego no atendimento a um mercado segmentado a ser desenvolvido.

### 2.1.5 SISTEMAS DE INDICADORES

Para que se empreguem eficazmente os três parâmetros que orientam as ações locais na direção da meta, definidos na abordagem *OPT/TOC* acima, precisa-se de um sistema de indicadores. Dado que nosso interesse são organizações com fins lucrativos, os indicadores devem traduzir as repercussões financeiras das decisões tomadas no âmbito local do gerenciamento. Para RODRIGUES (1998B), o indicador serve de bússola para nortear as ações da empresa no sentido do atingimento de sua meta global.

RODRIGUES (1998B) diferencia indicador de medidor da seguinte forma:

- **medidor**: Mensura um resultado já realizado, comparando-o ou não com um objetivo.
- **indicador**: Antecipa uma decisão, sinalizando a direção estratégica que se pretende impor à organização. Pode gerar ações que aproximam a empresa de sua meta.

Portanto, os indicadores são os elementos que auxiliam a tomada de decisão local, direcionando os esforços em busca da meta global. Os indicadores estabelecidos podem ser avaliados e validados no sentido de representarem decisões que estejam ou não conduzindo a empresa na direção de sua meta. Do mesmo modo que a meta global da organização direciona os indicadores, estes direcionam os itens de controle, que quantificam o desempenho dos processos locais. Destaque-se que o sistema de indicadores e seus itens de controle são elementos decisivos no processo de mudança da organização, pois esta agirá conforme o modo com que for medida.

Relembre-se a outra versão do mote de GOLDRATT (1992, pag. 30):

“Diga-me como me medes e lhe direi como me comportarei. Se me medires de maneira ilógica ... não se queixe de comportamento ilógico.”

Caso a organização se movimente conforme os objetivos de custos unitários, avaliados pela Contabilidade de Custos, as decisões locais conduzirão a cortes de custos ou aumentos de produtividades locais. Caso a organização introduza a produção sincronizada, os indicadores de custos unitários, ligados à Contabilidade de Custos, não serão adequados para conduzir esta mudança. O sistema de indicadores de desempenho mais adequado deve considerar Ganho, Despesa Operacional e Inventário, conforme definidos na Teoria das Restrições. Neste caso, o indicador central que melhor balizará as decisões correntes na produção será a capacidade de ganho unitário que cada item ou produto fabricado pode gerar pelo emprego da restrição do sistema (CORBETT NETO, 1997).

GOLDRATT (1992) sugere que um sistema de informações deve conter uma estrutura que responda a questões do tipo “o que aconteceria se ...”, ou seja, sugere que se incorpore capacidade de simulação antes da decisão, para que se prevejam suas conseqüências através dos indicadores e cenários alternativos adequados ao julgamento.

## 2.1.6 RESUMO DAS ABORDAGENS DESENVOLVIDAS

Descreveram-se acima quatro abordagens para a sincronização da produção:

- JIC, na qual não existe a preocupação com a sincronização nem com a existência de inventário na planta;
- STP, que através do sistema *kanban* busca o nivelamento da produção, mantendo um inventário suficiente distribuído nos postos de trabalho;



- *MRP/MRP II*, que visa a manter um inventário suficiente na planta, gerenciando para que as chegadas de matéria-prima ocorram no momento de sua necessidade;
- *OPT/TOC*, que admite inventário apenas em frente ao recurso restritivo, sincronizando os recursos não-restritivos ao ritmo da restrição.

Descreveu-se também a importância de um sistema de indicadores, principalmente para aferir a eficácia das ações locais na abordagem *OPT/TOC*. A seguir descreve-se a participação do inventário em ambiente de produção sincronizada, aprofundando-se sua análise pela abordagem *OPT/TOC*, por ser este o foco deste trabalho de conclusão.

## **2.2 O INVENTÁRIO EM AMBIENTE SINCRONIZADO**

Ao introduzir-se a *OPT/TOC*, visa-se à redução do inventário, que é um dos três indicativos do atingimento da meta de uma organização com fins lucrativos (GOLDRATT, 1991). Na indústria de Propriedade ainda discute-se pouco e pouca consciência existe acerca dos malefícios causados pela geração indiscriminada de inventário. Julga-se então necessário aprofundar esta discussão, descrevendo o inventário inserido no contexto do gerenciamento da produção e caracterizando-o definitivamente como perda.

### **2.2.1 O INVENTÁRIO NO CONTEXTO EVOLUTIVO DA PRODUÇÃO**

A função do inventário sofreu modificações ao longo da evolução gerencial da produção, dividida por SHINGO (1996B) em duas eras:

- era da Produção Autorizada de Estoque (PAE);
- era da Produção com Estoque Zero (PEZ).



Na era PAE, o estoque era tolerado como um mal necessário, que permite absorver o impacto dos vários problemas que surgem na produção, como itens defeituosos, quebras de equipamentos, pedidos urgentes ou tempos de *set-up* longos. Esta era se caracteriza pela atenção dada à melhoria das operações individuais, onde as melhorias visavam a corrigir sintomas e reduzir, e não eliminar, os problemas (SHINGO, 1996B).

Na era PEZ, o estoque é considerado como um mal absoluto. A atenção é concentrada na melhoria dos processos. Obtém-se produção sem estoque eliminando-se as causas que consideravam benéfica sua existência (SHINGO, 1996B). Para SHINGO (1996B), o estudo e compreensão dos sistemas de produção desenvolvidos até hoje podem ser guias importantes para determinar a direção a seguir no futuro.

Nos sistemas anteriores à primeira revolução industrial prevalecia a produção sob pedido. O artesão conduzia o processo do início ao fim, com características de qualidade conhecidas ou especificadas pelo comprador. A produção ocorria apenas quando havia consumo. A geração de estoques ocorria nas quantidades inerentes à sazonalidade de produtos agrícolas, como algodão, ou à disponibilidade de transportes até os mercados consumidores. Com o surgimento da máquina a vapor e da divisão do trabalho, a fabricação organizou-se em cadeia produtiva, empregando elementos de várias capacidades. A diversidade de postos de trabalho criou o transporte interno e os estoques intermediários (SHINGO, 1996B). Segundo HUBERMAN (1986), o aumento da produção era causado pelo aumento da procura, não havendo a formação de estoques de produtos acabados.

A primeira mudança importante no papel do estoque surge com a produção em grande escala originada na segunda revolução industrial. A administração científica de Taylor e a padronização e intercambiabilidade de peças de Ford trouxeram uma dramática redução no ciclo de trabalho (WOMACK, 1991). Adicionalmente, introduziu-se a linha de produção em

1913, que evitava a geração de estoque intermediário. Com o resultante aumento de produtividade, o estoque de produto acabado tornou-se um fator produtivo.

Produzia-se então ao máximo, sem *set-up's*, para evitar que a linha parasse, surgindo o famoso mote de Ford<sup>1</sup>:

- “Todos podem ter o carro que quiserem, desde que seja o modelo T, preto”.

A contabilidade de custos, criada por Daniel Brown, nesta época, estimulou a geração de estoque, considerando como ativo toda tarefa já realizada, seja completa ou parcial (NOREEN *et alli*, 1996). Para GOLDRATT (1999), esta produção dirigida ao estoque cria lucros artificiais, existentes apenas nos balanços das empresas, pois ainda não se transformaram em vendas e conseqüentemente em ganhos.

Os sistemas PEZ surgiram após longo reinado dos sistemas PAE, sendo o Sistema Toyota de Produção o primeiro método de produção com estoque zero (SHINGO, 1996B)<sup>2</sup>. O STP considera como perda a produção antecipada ou em quantidade demasiada. Persegue e elimina outras perdas, com técnicas como a Automação, que introduz operadores multifuncionais e o *JIT/Kanban*, que balanceia a produção. Os estoques tendem a zero. O STP só admite produção contra pedidos (SHINGO, 1996B).

Sistemas baseados em lógica *MRP* e *TOC* também são sistemas PEZ. Ambas as lógicas gerenciam para que o inventário ocorra no último momento possível (*MRP*) ou no local e quantidade adequada (*TOC*). Estes sistemas garantem a geração de ganho através do atendimento aos pedidos, sem promover o acúmulo de inventário (NOREEN *et alli*, 1996).

Para GOLDRATT (1999), não há dúvidas que a meta hoje é colocar e manter a organização em um ciclo de melhoria contínua. Segundo SHINGO (1996B), melhorias só são possíveis ao

<sup>1</sup> Uma primeira tentativa de inversão da lógica da produção padronizada em massa ocorre em 1926, na General Motors, que introduz a diferenciação de produto, como atrativo para o cliente (SLOAN JR., 1965).

<sup>2</sup> O *CIWQC* não fala explicitamente em redução de estoques, mas reduziu variabilidades e aumentou a disponibilidade de equipamentos, o que foi necessário para a introdução dos sistemas PEZ (OHNO, 1996).

se explicitarem as perdas, eliminando-se quem as esconde: o estoque. Portanto, só se aproxima da meta ao se dispor de um sistema de gerenciamento de produção que previna o acúmulo de inventário, seja intermediário, seja final.

### 2.2.2 O INVENTÁRIO COMO PERDA

Segundo ANTUNES JR. (1994), a noção de perdas existente na época de Taylor e Ford estava basicamente associada ao desperdício das coisas materiais. Não se discutiam com profundidade as causas destas perdas, pois ações ineficientes e mal orientadas de operadores não deixavam indícios visíveis e palpáveis. Para FORD (*apud* ANTUNES JR., 1994), o desperdício é associado à economia de materiais, levando-se em conta que estes incluem certa parcela de trabalho humano e que os desastres materiais abalam muito mais os gerentes do que as ações equivocadas dos homens. TAYLOR (*apud* ANTUNES JR., 1994) conclui que só haverá a eficiência nacional quando houver compreensão da necessidade de cooperação sistemática no treinamento e formação das pessoas.

Para ANTUNES JR. (1994), perdas são todas as atividades que geram custo e não adicionam valor ao produto. O Sistema Toyota de Produção, através de Ohno e Shingo, enumera sete perdas principais, sendo a maior perda aquela que não se vê (SHINGO, *apud* ANTUNES JR., 1994). GOLDRATT (1991) diz que os japoneses colocam enorme ênfase na redução do inventário, caracterizado como um mal absoluto, havendo uma consciência crescente na indústria de que há benefícios intangíveis em sua redução. Também diz que consegue-se uma vantagem competitiva ao desenvolverem-se seis elementos:

- investimentos em **qualidade e engenharia**, obtendo-se produtos melhores;
- **margens menores** ou **menos investimento** por unidade, oferecendo-se preços menores;
- **cumprimento de prazos e prazos menores**, mostrando-se resposta mais rápida.



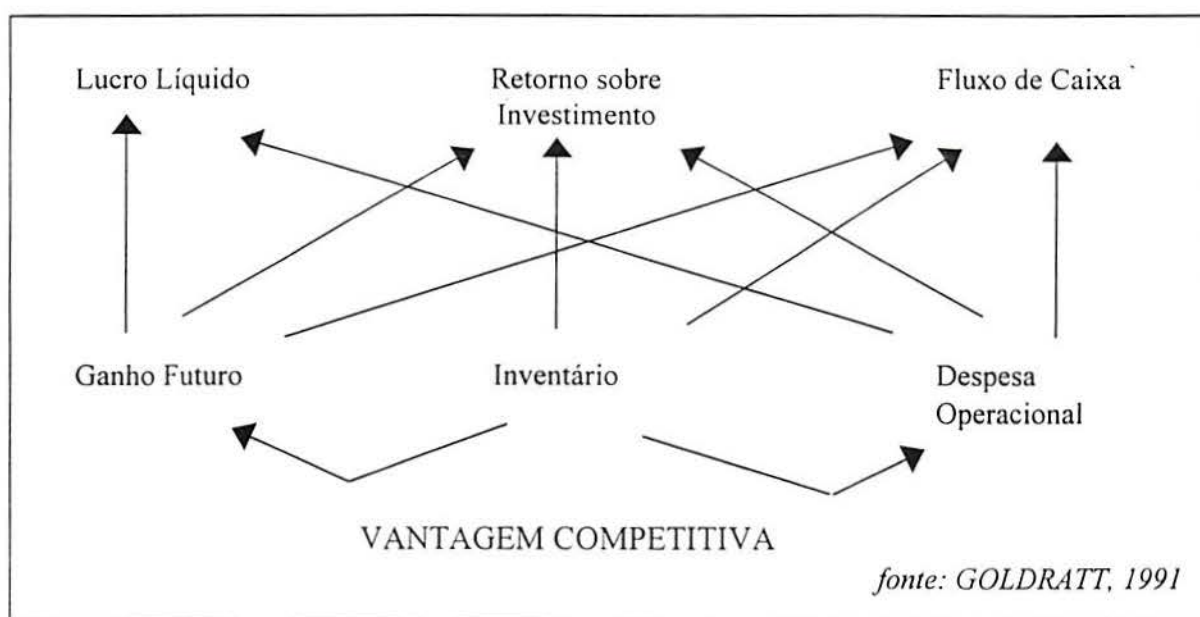
Para GOLDRATT (1991), estes seis elementos compreendem a vantagem competitiva no mercado atual e futuro, sendo que a corrida pela vantagem não está relacionada com alguma delas em particular, mas com as seis características ao mesmo tempo.

Em ambiente de produção com baixo inventário, a matéria-prima é liberada no ritmo da restrição. GOLDRATT (1991) mostra que, neste caso, um pedido é completado no menor tempo possível, atendendo ao terceiro item acima citado. Inclusive, relaciona o nível de estoque em processo ao *lead-time* praticado. Quanto maior o estoque em processo, maior o *lead-time*, devido ao tempo perdido na fabricação de lotes maiores que os devidos, gerando estoque intermediário e ocupando a restrição. Quanto à qualidade, ao se trabalhar com inventário baixo, um defeito é detectado imediatamente após sua ocorrência, ao passo que, sob inventário alto, uma parte defeituosa só irá aparecer quando de seu uso, muito tempo após sua fabricação. Torna-se impossível determinar a causa fundamental do defeito, o que não é o caminho correto para a melhoria da qualidade (DEMING *apud* GOLDRATT, 1991). Quanto à engenharia de produto, uma mudança pode ser implantada mais rapidamente em ambiente que não possua alto inventário, pois não haverá necessidade de tornar obsoleta uma parcela significativa de material. Finalmente, quanto ao aspecto financeiro, em ambiente de baixo inventário, o investimento por unidade entregue é menor, com melhor fluxo de caixa e sem a necessidade de investimentos em máquinas adicionais no setor de acabamento e embalagens. Estes setores são penalizados em ambiente de alto inventário, pois devem recuperar os atrasos acumulados pelo alto *lead-time* das etapas iniciais do processo. Adicionalmente, sempre que dificuldades nas etapas de conclusão dos pedidos demandem horas-extras ou outras despesas imprevistas, que diminuam o lucro líquido, estas estarão associadas a *lead-times* longos, prevenidos pela redução do inventário interno.

Os seis aspectos relacionados por GOLDRATT (1991) como determinantes do sucesso na corrida competitiva relacionam-se inversamente ao *lead-time* e ao nível de inventário.



Portanto, a perda de competitividade está relacionada com o nível de inventário exigido pela estratégia de produção. À medida que o inventário diminui, diminuem as perdas e aumenta a competitividade. Estas relações são representada na Figura 2.2, ligando o ganho e as reduções de inventário e despesas operacionais aos elementos indicadores do atingimento da meta, que são o Lucro Líquido, o Retorno sobre o Investimento e o Fluxo de Caixa. A chave para redução do inventário é a produção sincronizada.



**Figura 2-2: O impacto da vantagem competitiva**

Relacionando inventário e ganho futuro, GOLDRATT (1991, pag. 66) escreve:

“A nossa análise dos elementos da vantagem competitiva ilustra como o inventário está relacionado com as vendas (ganho). Agora, o inventário deve ser associado ... com nossa habilidade de sobreviver e prosperar nos mercados de amanhã. Quanto menos inventário tivermos hoje, mais seguro

será nosso futuro<sup>1</sup>. Também vimos ... o inventário ser fonte de horas-extras, custos de qualidade, despesas de expedição e excesso de capacidade.”

“Estas novas ligações causam impacto importante nas vendas futuras, e um impacto adicional inesperado na despesa operacional. Agora ... o inventário está afetando o lucro líquido duas vezes, e o retorno sobre investimento e o fluxo de caixa três vezes.”

### 2.2.3 GIRO DE INVENTÁRIO

Para GITMAN (1997), o estoque representa investimento importante em ativo circulante para a maioria das indústrias, pois normalmente incide em uma restrição financeira. Coloca então três posturas estratégicas para otimizar o fluxo de caixa:

- retardar ao máximo o cumprimento das contas a pagar;
- girar o estoque com a maior rapidez possível;
- antecipar ao máximo as contas a receber.

Portanto, a administração do inventário é decisiva para obter-se um fluxo de caixa positivo.

GITMAN (1997) define giro de estoque como o quociente entre o custo das mercadorias vendidas e o valor do estoque médio. Por dividir duas unidades monetárias, o giro de estoque é uma unidade adimensional. Na prática, representa quantas vezes o inventário é renovado no período de tempo, para cumprir os compromissos de vendas.

- Giro do estoque = custo das mercadorias vendidas (\$) / valor do estoque médio (\$);

Compara-se um giro de estoque ao de outras organizações semelhantes, ou com a mesma organização em diferentes momentos, pois um giro ótimo varia com a característica da

---

<sup>1</sup> Devido aos maiores LL e ROI obtidos, que formam caixa para a gestão do futuro (comentário do autor).

empresa. Um pequeno comércio pode ter giro de estoque anual igual a 40, enquanto um fabricante aeronáutico pode tê-lo dez vezes mais baixo e ainda ser competitivo. Conforme GITMAN (1997), estoque médio é definido como a média entre o valor do estoque no primeiro dia do período e o primeiro dia do período seguinte. O período médio de estoques é o quociente entre o período e o giro de estoque, segundo:

- Período médio de estoque = 30 dias / giro de estoques no mês ;

Na prática, significa o número de dias que em média decorrem entre a compra de um item de matéria-prima e a venda do produto acabado que incorpora este item. Quanto menor este período, mais líquida ou ativa é a empresa (GITMAN, 1997).

GOLDRATT (1999) diz que o inventário surge no balanço como valor agregado de custos, ou seja, da matéria-prima empregada, mais os demais custos incidentes no processamento. A fabricação para estoque produz ativos contábeis que geram resultados fictícios, ao antecipar como ativo uma receita ainda não realizada, e prejudicando o fluxo de caixa.

A evolução do giro típico de estoque nas organizações é apresentada no Quadro 2.1.

<b>Período</b>	<b>Giro de inventário típico</b>
<b>até 1980</b>	de 2 a 5
<b>de 1980 a 85</b>	de 5 a 20
<b>em 1985, no Japão</b>	alguns > 100
<b>anos 90</b>	giros negativos <sup>1</sup>

*FONTE:  
GOLDRATT, 1991*

**Quadro 2-1: Evolução dos giros típicos de inventário**

<sup>1</sup> Girar o inventário tão rápido que receba-se pelo produto acabado antes de pagar-se a matéria-prima.

A respeito, GOLDRATT (1991, p.12) escreve:

“Em nenhum lugar a corrida se manifestou mais do que nos giros de inventário. O índice de giro ou consumo do inventário é uma medição excelente do desempenho e do índice de mudança nas empresas de manufatura. Durante a década de 70, o padrão aceitável de giro de inventário estava entre dois e cinco ... A média japonesa ... era de 5,5 ...”

“Na década atual<sup>1</sup>, dois a cinco giros de inventário são considerados totalmente inadequados. O padrão de desempenho aceitável mudou imensamente em apenas alguns anos para algo entre cinco e vinte ... Várias empresas ocidentais já estão operando com 30 a 80 giros de inventário.”

#### 2.2.4 A PERDA FINANCEIRA ASSOCIADA AO INVENTÁRIO

O inventário é um investimento, pois exige que a empresa empregue seu capital na compra de bens, que reverterão em receitas apenas após o decurso de um tempo (GITMAN, 1997).

Existem três tipos de inventário<sup>2</sup>:

- **Matérias-primas:** São itens já processados, comprados de outros fornecedores ou em forma primária, extraídos da natureza, que ainda não foram processados na organização. O nível ideal de inventário de matéria-prima depende do tempo de reposição, frequência do uso, valor do investimento e características físicas, como perecibilidade, e condições de armazenamento. Depende, principalmente, da política de estocagem. Caso se adote uma política *Just-in-Case*, é possível que o estoque de matéria-prima se eleve excessivamente, ao contrário das políticas *JIT* e *TOC*, que procuram manter o nível de inventário ao mínimo

<sup>1</sup> O livro “A corrida pela vantagem competitiva” foi escrito originalmente em 1986.

<sup>2</sup> Existem outros tipos de inventários que podem ser consideráveis, como o estoque de ferramentas na indústria metal-mecânica ou calçadista.



possível que garanta, respectivamente, o balanceamento da produção e o ganho da organização.

- **Estoque em processo (*WIP*)**<sup>1</sup>: Consiste nos itens que já iniciaram seu processamento e ainda não atingiram a condição de serem vendidos. O nível do *WIP* depende da característica e complexidade do processo, do tempo de atravessamento e da política de produção, em exata concordância com os estoques de matéria-prima. Para tempos de atravessamento grandes, a tendência é o crescimento do *WIP*, que vai se acumulando nos estoques intermediários entre os processos. Ao contrário da matéria-prima e do produto acabado, o *WIP* é de difícil venda, pois interessa apenas ao fabricante, e raramente pode ser empregado como garantia colateral para empréstimos. Apesar disto, agrega valor contábil à medida que a matéria-prima é transformada, agregando ao custo desta os demais custos de fabricação, como mão-de-obra e custos indiretos, gerando um ativo ainda não-realizado. A empresa deve movimentar o mais rápido possível o *WIP*, para reduzir seu impacto negativo no fluxo de caixa (GITMAN, 1997).
- **Produtos acabados**: Consiste nos itens que já encerraram seu processamento e ainda não foram entregues, seja por que foram produzidos em antecipação, sem pedido firme, ou produzidos antes da data devida. Organizações que produzem por encomenda possuem estoque de produto acabado bastante limitado, enquanto que organizações que produzem *commodities*, como a indústria de Propriedade ou bens repetitivos, podem empregar uma estratégia de produzir para estoque, antecipando as vendas. Empresas com características sazonais devem produzir para estoque, de modo a antecipar produção e não deixar de atender seu mercado no período de alta demanda (SLACK *et alli*, 1997). Empresas com

---

<sup>1</sup> *Work-in-Process*

política de produção *TOC* mantém um pulmão de pedidos, que garanta o ganho da organização contra as variabilidades do processo.

Os três tipos de inventário acarretam despesas financeiras e não-financeiras.

Enfatize-se o custo de manutenção e movimentação do estoque, seguros, aluguel de armazéns, contaminação e riscos de perecibilidade e obsolescência para produtos de moda ou de engenharia em evolução e os custos da não-qualidade. Outras perdas decorrem de juros pagos pelo capital de giro empregado na compra e processamento antecipado da matéria-prima, ou, no caso de capital próprio, do custo de oportunidade, perdida pelo não-emprego do capital em uma aplicação financeira. Este custo financeiro é descrito no Quadro 2.2. A taxa de juro mensal será a taxa referencial interbancária no caso de capital próprio ou a taxa de juro para empréstimos, no caso de capital de giro de terceiros.

<b>dados</b>	<b>variável</b>
<b>i =</b>	<b>taxa de juro em base diária</b>
<b>X =</b>	<b>estoque médio no mês</b>
<b>G =</b>	<b>giro mensal de estoque</b>
<b>T =</b>	<b>tempo médio de estoque = 30/G</b>
<b>K =</b>	<b>preço do item</b>
<b>Perda financeira no mês = <math>(X * 30 * K * i) / G</math></b>	

**Quadro 2-2: Perda financeira por excesso de inventário**

Por exemplo, seja uma matéria-prima com os dados do Quadro 2.3. O custo financeiro de oportunidade é calculado para esta situação da matéria-prima em questão.

dados	variável
i =	0,1 % ao dia
X =	15.000 toneladas
G =	2 vezes por mês
T =	$15 = 30 / G$ dias
K =	30 \$ por unidade
Perda financeira no mês = $(15.000 * 30 * 30 * 0,001)/2 = 6.750$ \$	

Quadro 2-3: Exemplo de perda financeira por inventário

### 2.3 A SINCRONIZAÇÃO DA PRODUÇÃO NO AMBIENTE DA TOC

Caracterizado o inventário como perda, examine-se então mais profundamente a abordagem TOC para sua redução. Segundo RODRIGUES (1998), a redução de inventário proporciona aumento de ganho pela redução de *lead-time*, ligada à redução do lote, flexibilidade e outras formas de bom atendimento ao cliente. Reduz-se inventário sem perda de ganho nem aumento das despesas operacionais através da produção sincronizada. Para sincronizar a produção, definem-se dois tipos de recursos:

- **restritivo:** recurso que impede o ganho de aumentar, podendo ser:
  - Gargalo: recurso com capacidade de produção menor que a demanda;
  - CCR (Recurso com Restrição de Capacidade): capacidade maior que a demanda, mas que, por decisão política ou de programação, ao não operar todo o tempo disponível, tornou-se uma restrição.
- **não-restritivo:** recursos com capacidade sempre superior à demandada.

Localiza-se o gargalo e ajusta-se o fluxo de produção ao seu ritmo. Os recursos que antecedem o gargalo são puxados a um ritmo superior, formando um estoque (pulmão) que



antecede a restrição. Esse pulmão abastecerá constantemente o gargalo e prevenirá parada por falta de material. Caso necessária, a inspeção de qualidade deve ser feita antes do gargalo, prevenindo seu uso em partes que serão rejeitadas. Após a restrição, a produção é empurrada até o final, no ritmo do gargalo.

Sabe-se que incertezas ocorrem em sistemas complexos, onde tempos de execução obedecem a distribuições estatísticas (CORREA & GIANESI, 1994). Somem-se a isto os erros de informação e comportamento, resultando pouca acurácia nos dados gerenciados e distorções de resposta. Para prevenir a falta de acurácia, GOLDRATT(1988) propôs programar o recurso restritivo e toda a rota após o mesmo de modo *forward*, ou seja, para a frente no tempo. Os recursos não-restritivos são programados *backward*, ou seja, para trás no tempo, a partir da data devida, suportando a restrição. Deste modo, exigem-se dados com alto nível de acurácia apenas nos recursos restritivos (CORREA & GIANESI, 1994).

Em 1985, Goldratt ampliou o conceito de pulmão para pulmão de tempo. Uma tarefa-gargalo é programada antes da tarefa precedente, em aparente contradição, representando uma proteção temporal eficaz no chão-de-fábrica. O pulmão de tempo ocorre quando a execução de uma parte é programada para que se complete **antes do momento** necessário, sendo definido como o espaço de tempo entre a conclusão da parte e o seu uso. Este conceito é especialmente aplicável quando se têm partes diferenciadas para diferentes pedidos. O pulmão físico acontece quando a execução de uma parte ou processo é programada para produzir **mais do que** o necessário. Este conceito é especialmente aplicável quando se têm partes ou processos padronizados para diferentes pedidos. Caso a parte produzida na restrição integre uma montagem de conjunto, os demais componentes deverão ser protegidos por pulmão para garantir a data devida. Faz-se ainda um outro pulmão de tempo, na frente da operação de montagem, que emprega uma parte processada na restrição, com o propósito de proteger a

montagem contra as variabilidades na fabricação das peças que não passam pela restrição. É o pulmão de montagem. Na indústria de Propriedade, considera-se o embalamento como uma montagem e o pulmão de embalagens como pulmão de montagem.

Segundo RODRIGUES (1998), evitam-se paradas no gargalo, devidas a interrupções na linha sucessiva, prevendo área de estocagem após o mesmo, pois, se a linha sucessiva parar de consumir a produção do gargalo, o mesmo parará por falta de área de estocagem. Como os recursos subseqüentes ao gargalo têm capacidade superior a este, o estoque formado, em condição normal, irá desaparecer. Outra questão é o tamanho do pulmão de tempo. Para GOLDRATT (1999), deve-se arbitrar um valor inicial e melhorá-lo a partir da prática do chão-de-fábrica. Pode-se iniciar com metade do *lead-time* da linha. Em pouco tempo o *lead-time* cairá e o pulmão poderá ser reduzido. Em função de seus desenvolvimentos, Goldratt formalizou nove regras para utilização dos recursos restritivos, sincronizando a produção:

1. Balancear o fluxo do sistema e não sua capacidade;
2. O nível de utilização de um não-gargalo não é determinado pela própria disponibilidade, mas por outra restrição do sistema;
3. Utilização e ativação de um recurso não são sinônimos;
4. Uma hora perdida em um gargalo é uma hora perdida para todo o sistema;
5. Uma hora salva em um não-gargalo é apenas uma miragem;
6. Os gargalos governam tanto o ganho como o inventário;
7. O lote de transferência não deve, e muitas vezes não pode, ser igual ao lote de processo;
8. O lote de produção deve ser variável e não fixo;
9. A programação da produção deve ser estabelecida observando todas as restrições do sistema simultaneamente. Os *lead-times* são resultantes da programação e não podem ser predeterminados.

### 2.3.1 O ALGORITMO TAMBOR-PULMÃO-CORDA

As nove regras citadas se materializam no chão-de-fábrica através do algoritmo TPC. Para fixar uma imagem, GOLDRATT (1991), no livro 'A Corrida', propôs uma analogia com uma coluna de soldados que marcha em linha reta, por terreno acidentado, ao ritmo de um tambor. O trajeto é análogo ao lote de produção, cada trecho de terreno percorrido é uma operação realizada, os acidentes de percurso são as incertezas operacionais, espaço entre soldados é estoque intermediário e o soldado de menor resistência é o gargalo. Para que a coluna avance coesa, o tambor deve bater no ritmo do gargalo, mesmo que os soldados mais fortes marchem abaixo de seu potencial. Caso o soldado da frente encontre terreno limpo, terá a tendência a disparar, rompendo a coesão da coluna. Neste caso, une-se por uma corda este soldado ao gargalo, evitando o espaço e, por analogia, estoque intermediário. Os soldados a frente do gargalo tenderão a se reunir atrás do primeiro. O espaço resultante é o pulmão.

Para CORREA & GIANESI (1994), no ambiente de produção há restrições como mercado, fornecimentos, políticas da organização e capacidade produtiva, sempre havendo um recurso com capacidade restrita (*CCR*) que limita o ganho da empresa. Localizado este recurso, o TPC nele começa a programação. Associa-se a este recurso o termo "tambor", aludindo-se ao fato de que ditará o ritmo de todo o sistema produtivo. O TPC carrega o tambor com a demanda requerida e estabelece a melhor sequência para o trabalho, considerando datas devidas, *set-up's* dependentes, etc. A seguir, protege o tambor contra incertezas, programando a carga de trabalho a ser processada para antes da data devida. A esta proteção associa-se o termo "pulmão de tempo", aludindo ao fato de que o sistema produtivo "respirará" por um tempo suficiente para sua recomposição, caso haja interrupção de fornecimento. O ritmo do tambor



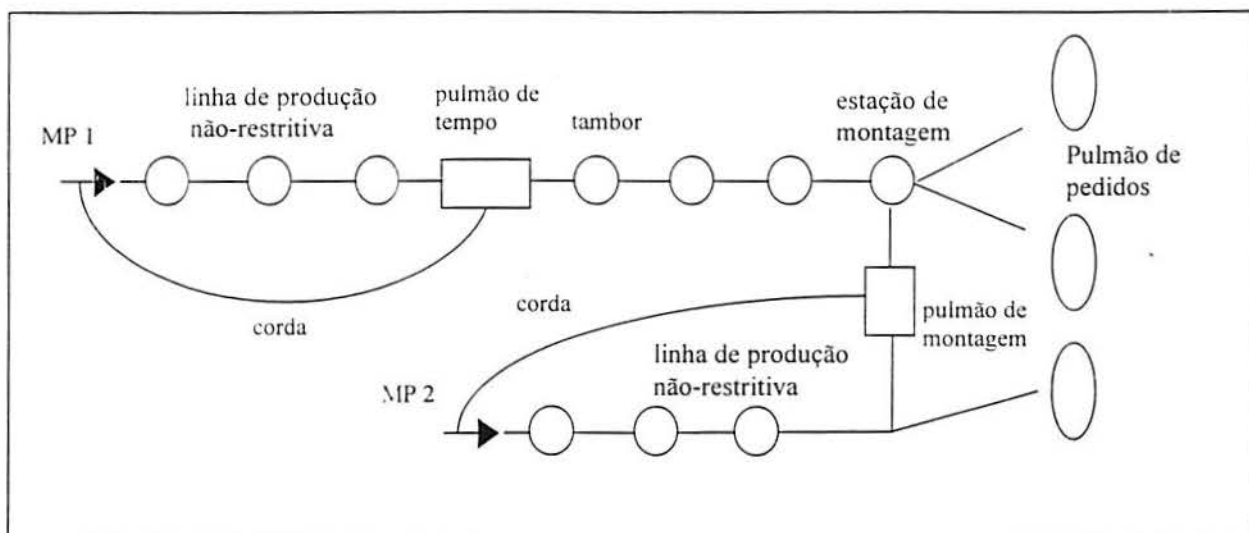
governa os recursos não-restritivos posteriores, valendo a “regra do papa-légua”<sup>1</sup>. Como estes recursos tem mais capacidade que o tambor, cumprirão esta regra. O nível do pulmão governa os recursos não-restritivos anteriores. Nível baixo no pulmão admite matéria-prima na primeira operação, na quantidade necessária para recompor o nível, considerando o *lead-time* até o pulmão. Nível alto interrompe a admissão. Associa-se a esta prática o termo “corda”, aludindo-se ao fato de o pulmão “puxar” material para sua recomposição. Como o tambor governa o nível do pulmão (regra 6), e os recursos anteriores têm folga, vale a “regra do papa-légua”. Identificando-se mal o gargalo, após a implantação do TPC o verdadeiro gargalo aparecerá (GOLDRATT,1999).

O TPC protege o ganho, protegendo a data devida. Caso a parte processada no tambor faça parte de um conjunto de montagem, esta deverá ser protegida, antecipando-se a chegada de todos os demais componentes que não passam pelo tambor. O programa destas partes prevê que estejam disponíveis um intervalo de tempo igual ao pulmão de montagem, antes que sejam requeridas pela parte que passa pelo tambor. Esta antecipação constitui um pulmão de tempo na frente da montagem, chamado pulmão de montagem. As demais tarefas antes do pulmão de montagem são definidas por programação *backward*. Variabilidades nos centros de trabalho que antecedem o pulmão de montagem não afetarão a data devida se corrigidas dentro do pulmão de tempo planejado. Prevê-se ainda um pulmão de pedidos físico (materiais) ou de tempo (produção antes da data devida), que garantirão de modo global as entregas nas datas devidas. Na Figura 2.3 visualiza-se um típico sistema produtivo descrito pelo TPC, com pulmões de tempo, de montagem e de pedidos.

Compreende-se esta lógica combinada através da Figura 2.4. Dois componentes A e B são montados juntos para compor o produto C. A é processado em uma rede cujo gargalo é X, sendo os recursos Y<sub>i</sub> não-gargalos. A programação *forward* já otimizada para os itens

<sup>1</sup> Havendo serviço, corra o mais que puder; não havendo, fique parado (GOLDRATT, 1999).

processados em X é D.E.F.A.G.H. A partir desta sequência, estabeleceu-se a programação *backward* dos recursos  $Y_i$ , os pulmões de tempo, o momento de compra de B e, para que A não espere após ser processado pelo gargalo, o TPC programa a chegada de B na estação de montagem um tempo antes da chegada de A (CORREA & GIANESI, 1994).



**Figura 2-3: Sistema produtivo típico representado pelo TPC**

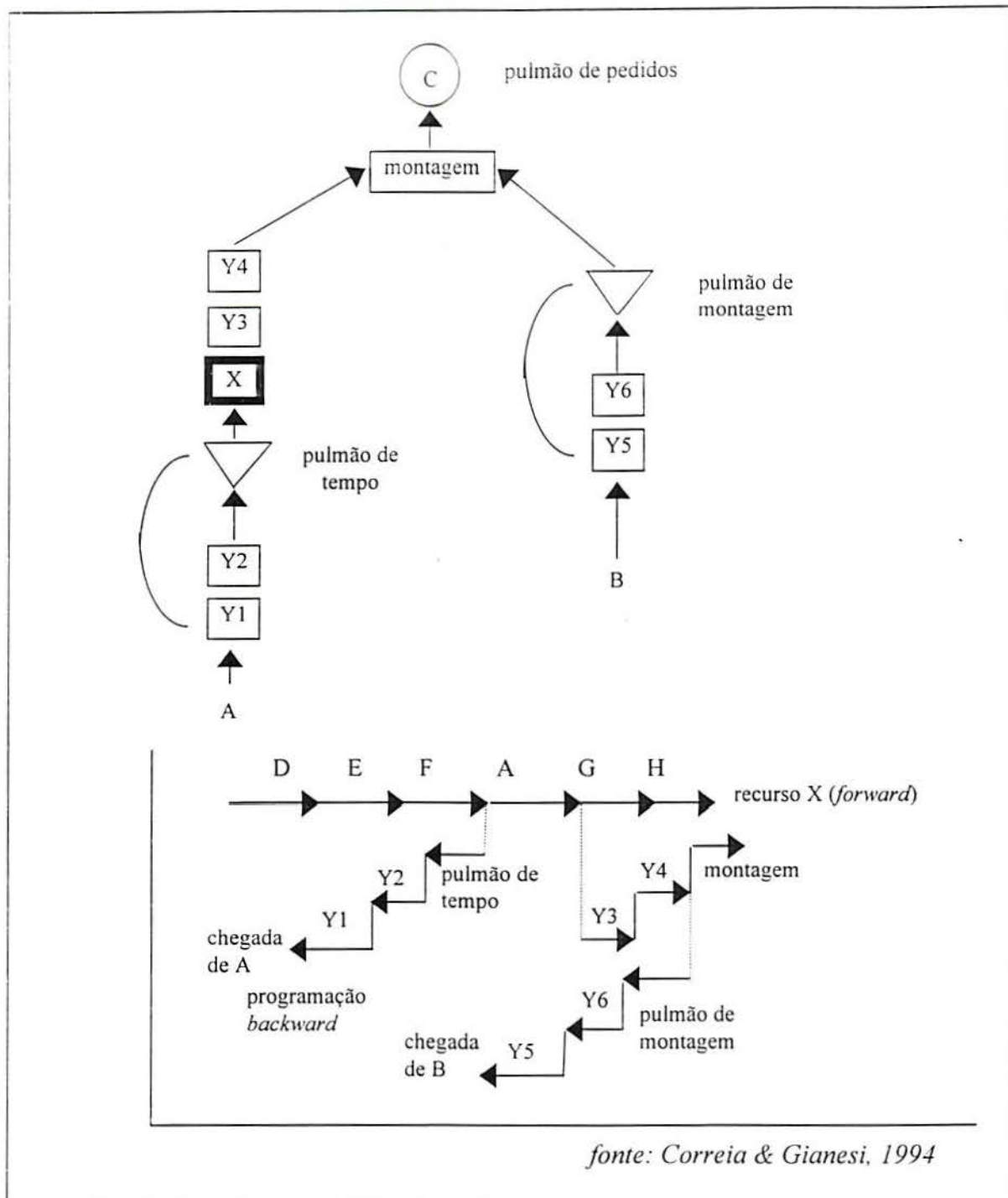


Figura 2-4: O algoritmo TPC



### 2.3.2 O ESTABELECIMENTO DA *TOC*

GOLDRATT (1988) relata que o sucesso obtido pelo livro “A meta” surpreendeu e, mesmo contendo apenas uma pequena parcela do conhecimento desenvolvido, registraram-se casos de resultados muito melhores do que aqueles associados ao emprego de treinamento e *software*, e com muito menos tempo e investimento.

Nos relatos subseqüentes de sucessos na logística de produção, os problemas transferiram-se para as demais áreas da empresa. Goldratt sabia que as organizações precisavam de fundamentos, pois a cada aplicação de solução pronta seguia-se um salto de competitividade e um período de estagnação. Era preciso ensinar o raciocínio lógico, de modo que as organizações aprendessem a resolver seus problemas e entrar em um ciclo de melhorias contínuas auto-sustentado (CORBETT NETO, 1997). GOLDRATT (1988) investigou mais profundamente a situação, chegando à formulação de uma teoria mais abrangente para gerenciar a organização. Esta teoria foi chamada de “Teoria das Restrições” (*TOC*) e possibilitou descrever todos os desenvolvimentos até então obtidos como meras derivações de uma teoria generalista.

A *TOC* pode ser vista como uma generalização metodológica, sendo o pensamento *OPT* um caso particular da mesma, aplicado a uma área exclusiva da organização: a fabricação. A *TOC* aplica-se a todo o sistema, através da gestão do universo de restrições (financeiras, mercadológicas, produtivas, distribuição, RH, etc.) a que a empresa está submetida. O elemento básico deixa de ser o gargalo e passa a ser a restrição, definida como algo que impede um sistema de avançar na direção de sua meta (RODRIGUES, 1998). A *TOC* considera a empresa como um sistema, isto é, um conjunto de elementos com relações de interdependência, cujo desempenho global depende do desempenho de cada elemento e do

modo como se relacionam. Todo sistema tem ao menos uma restrição, já que, se em algum momento, o ganho não for limitado, crescerá infinitamente (CORBETT NETO, 1997). A partir deste raciocínio, foi criado o processo de otimização contínua da *TOC*, composto de cinco passos de focalização de problemas:

1. Identificar a restrição do sistema;
2. Decidir como explorar a restrição do sistema;
3. Subordinar tudo o mais à decisão acima;
4. Elevar a capacidade da restrição do sistema;
5. Se uma restrição for quebrada, voltar à regra 1, mas nunca permitir que a inércia cause uma restrição no sistema.

### 2.3.3 A *TOC* COMO MELHORIA CONTÍNUA NA ORGANIZAÇÃO

Os cinco passos de focalização acima estabelecem uma lógica de melhoria contínua. Esta lógica é necessária em um mercado mais diversificado, que muda mais rápido, que é mais competitivo do que qualquer outra época e onde se exigem zero defeitos e um ciclo de vida mais curto dos produtos. Neste mercado, a obsolescência ocorre cada vez mais cedo (GOLDRATT, 1991). Acerca deste cenário, e em conexão com o conceito de melhoria contínua, GOLDRATT (1991, p. 145) escreve:

"Aquilo que um dia foi uma mudança relativamente gradual, se transformou, nos últimos anos, em uma corrida de intensidade exponencialmente crescente. Aqueles que não conseguem **melhorar continuamente** estão ficando para trás, já que o sucesso neste ambiente exige mais do que um melhoramento simples ...".

‘Agora, é necessário muito mais do que melhoramentos esporádicos. De fato, a única maneira de assegurar e melhorar a posição competitiva hoje é através da instituição de um processo de melhoramento contínuo ...’.

‘O que é necessário é um processo que irá ... identificar claramente a área onde um melhoramento produzirá o máximo impacto global’.

‘Este processo deve permitir que uma organização obtenha o lucro máximo destes melhoramentos, ajudando-a ... a identificar a área onde é necessário o melhoramento seguinte e a quantificar o impacto.’

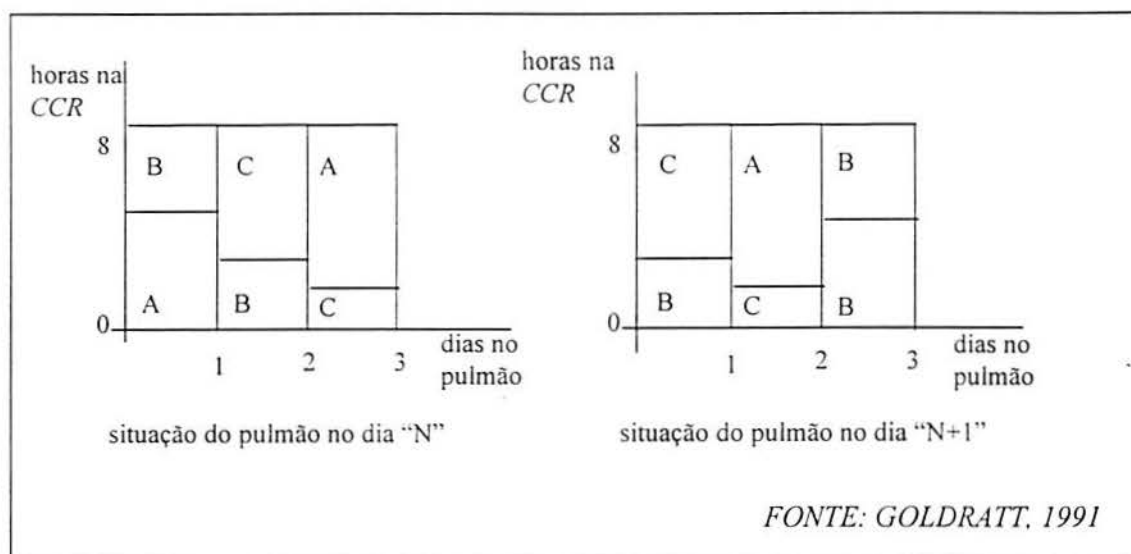
A Teoria das Restrições e os cinco passos de focalização de problemas colocam a empresa no rumo da melhoria contínua (GOLDRATT, 1992), e o sistema TPC coloca a empresa em um processo competitivo em pouco tempo (GOLDRATT, 1991). Deve-se porém encontrar um instrumento de promoção ininterrupta e automática da melhoria. Em um universo de melhorias possíveis, quais conduzem mais rapidamente à meta?

Considerando que o pulmão é a proteção colocada antes do recurso restritivo, seu gerenciamento é o mecanismo adequado para descobrir as flutuações de desempenho da produção e permitir a investigação das causas dos desvios.

A comparação entre o pulmão planejado e o pulmão real indica as faltas, causadas por interrupções de fluxo a montante do pulmão. Rastreando-se o processo, descobre-se o que falhou na alimentação do pulmão e planeja-se uma ação corretiva, de modo a que o problema não se repita (GOLDRATT, 1991). Para que se entenda o mecanismo de melhoria contínua através do gerenciamento dos pulmões, representa-se um pulmão por dois eixos ortogonais. O eixo vertical representa o número de horas que determinada parte requererá do gargalo, e o eixo horizontal representa o período de tempo (p. ex. dias) em que estas partes estão



programadas para entrar no gargalo. A qualquer momento, tem-se um pulmão fixo de tempo, cujo conteúdo varia continuamente, conforme a Figura 2.5.



**Figura 2-5: Dinâmica do pulmão de tempo**

Para processo produtivo de Forma, as partes A, B e C são peças ou itens. Para processo produtivo de Propriedade, A, B e C são *mix* das matérias-primas a empregarem-se no gargalo. Se o pulmão estiver sempre cheio, não há interrupções afetando o fluxo de material e o pulmão pode ser eliminado. A situação ideal é aquela em que o material planejado para o primeiro terço do pulmão está sempre presente e a maioria dos materiais planejados para o terceiro terço está faltando. A situação no segundo terço é algo entre os extremos<sup>1</sup>. Este perfil de pulmão protege a restrição das flutuações esperadas. Estendendo o raciocínio para pulmões físicos, pode-se aceitar uma situação na qual o total de matérias-primas realmente presentes no pulmão atinja 70% do total planejado. Caso o último terço do pulmão de tempo esteja quase

<sup>1</sup> Trata-se de procedimento empírico, nascido da prática de chão-de-fábrica.

cheio ou o pulmão físico esteja permanentemente próximo a 100%, há um indicativo de pulmão grande demais. O gerenciamento de pulmão possivelmente descobrirá mais do que uma falta. Prioriza-se o problema mais relevante e sua eliminação (GOLDRATT, 1991).

Para este foco, identificam-se três dados, que permitirão ponderar a importância de cada falta no pulmão e atribui-se este valor ao processo precedente responsável pela falta:

- número de horas que o recurso restritivo será ocupado pela parte em atraso ( $t_1$ );
- folga remanescente entre o momento da descoberta da falta e a interrupção do recurso restritivo pela parte em atraso ( $t_2$ );
- o tempo que ainda será necessário para que a parte em atraso chegue ao pulmão ( $t_3$ ).

Calcula-se um fator de interrupção para cada falta por uma combinação linear do tipo:

- $F.I. = (K_1 * t_1 + K_2 * t_2 + K_3 * t_3)$ , onde os  $K_i$  são constantes de ponderação da importância dos tempos  $t_i$ .

Repetindo-se este procedimento para cada pulmão e cada falta em toda a organização, determina-se um fator de interrupção para cada processo, recurso produtivo ou fornecedor.

Pelo princípio de Pareto, priorizam-se as ações de melhorias naqueles processos, recursos ou fornecedores com maiores fatores de interrupção, identificados como críticos, o que aproximará a organização mais rapidamente de sua meta. Ações fora destes recursos serão melhorias localizadas e possivelmente acarretarão pouco resultado global.

Neste ponto integram-se as ferramentas japonesas de qualidade com o ambiente TPC. Os fatores de interrupção calculados pelo gerenciamento dos pulmões nos indicam **onde** melhorar, porém não nos indicam **como** melhorar. Algumas técnicas úteis no planejamento e execução da ação de melhoria são:

- **TPM** (Manutenção produtiva total): Introduce procedimentos que identificam causas de paradas e reduzem a indisponibilidade das máquinas por manutenção;

- **TQM** (Gerenciamento da Qualidade Total): Reduz refugos e retrabalhos causados por produção de partes com qualidade inaceitável, e prevenidos por *poka-yokes* :
- **TRF** (Troca Rápida de Ferramenta): Reduz o *set-up* em pontos fora do gargalo, que, pelas demais variações de produção, ou por produzirem lotes maiores, podem afetar o mesmo.
- **Automação**: Reduz incertezas e variabilidades, reduzindo a proteção necessária.

Para cada causa investigada, é possível identificar uma ferramenta de solução de problema apropriada. O importante é que não se perca de vista que a correção do problema que aparece no alto da lista é a que causará maior impacto no preenchimento das faltas mais importantes do pulmão. Este preenchimento permitirá reduzir o tamanho do pulmão, iniciando novo ciclo de faltas e melhorias. Ao diminuir o pulmão, é certo que se aproxima a organização de sua meta (GOLDRATT, 1991).

Por fim, quando o ganho nas vendas aumenta, através da melhoria contínua, diminui o excesso de capacidade dos não-gargalos. Aumentam-se os pulmões para continuar não afetando o ganho, porém esta decisão promove o afastamento da meta. A solução é focalizar a restrição e aumentar sua capacidade, explorando-a ao máximo, através de horários alternativos, inspeções de qualidade dedicadas, priorização de produtos de maior valor agregado e, por fim, aumento de capacidade. Rompe-se a restrição, surgindo uma nova definição de fábrica, na qual o processo de melhoria contínua se reinicia, em um movimento de espiral ascendente. O processo contínuo de gerenciar pulmões, descobrir e romper restrições, gerenciar os novos pulmões e romper as novas restrições coloca a organização na corrida competitiva, alcançando-a a um nível de resultado nunca antes alcançado.



### 2.3.4 O PROCESSO DE MUDANÇA PELAS FERRAMENTAS DA TOC

A lógica da melhoria contínua implica mudanças, sendo a *TOC* uma alternativa para gerenciá-las, pois é composta de dois campos de ação: aplicativos físicos, como logística de produção, agindo em restrições materiais, e processos de raciocínio, agindo em todas as áreas do conhecimento humano. Neste caso, a restrição geralmente está nas políticas da organização. Goldratt explicitou as ferramentas de raciocínio lógico que intuitivamente usava, passando a ensiná-las fora da logística de produção<sup>1</sup>. O pressuposto básico é que, em um sistema, existem poucas causas que explicam os efeitos indesejáveis verificados. Os processos de raciocínio baseiam-se em relações de dependência, que explicitam relações de causa-efeito, necessárias para eliminar os problemas-cerne e estabelecer a melhoria contínua (CORBETT NETO, 1997). Suas cinco ferramentas podem ser usadas isoladamente ou em conjunto, de acordo com o objetivo visado. São elas (GOLDRATT, 1999):

- **Árvore da Realidade Atual (ARA):** descreve uma realidade, através de relações de causa e efeito, e permite mostrar como os efeitos indesejáveis se interligam e se originam de poucas raízes, normalmente conflitos não resolvidos ou pressupostos errôneos;
- **Diagrama de Dispersão de Nuvem (DDN):** explicita pressupostos de uma situação conflituosa. Elege-se e quebra-se o pressuposto errôneo, eliminando o conflito e viabilizando a solução do problema;
- **Árvore da Realidade Futura (ARF):** constrói e testa soluções, antes da implementação. Prevê e previne novos problemas que podem decorrer da solução;

---

<sup>1</sup> O livro 'Mais do que sorte...processos de raciocínio' foi escrito com este fim.

- **Árvore de Pré-Requisitos (APR):** identifica obstáculos que impedem o atingimento de um objetivo e cria uma seqüência lógica e temporal de objetivos intermediários que devem ser atingidos, no caminho da solução definitiva;
- **Árvore de Transição (AT):** identifica e seqüencia ações na busca de um objetivo. As transições representam os estágios da mudança desde a situação atual até o objetivo final.

Empregam-se as ferramentas de raciocínio para mudar a organização, descrevendo-se a realidade atual pela ARA, resolvendo-se conflitos pelo DDN, projetando-se a realidade desejada pela ARF e traçando-se o plano de ação da mudança através das APR e da AT. Segundo GOLDRATT (1990), as mudanças são percebidas como ameaças, gerando resistências pessoais. GOLDRATT (1999) alerta que os agentes devem estar preparados para enfrentar ao menos seis camadas de resistências pessoais durante o processo de mudança e, para tratá-las, indica um procedimento que emprega as ferramentas de raciocínio da *TOC*:

- iniciar mostrando o problema-cerne e não a solução, através da ARA;
- concordar sobre a direção da solução, explicitando os pressupostos através do DDN;
- buscar uma solução pelos cinco passos de focalização de problemas da *TOC*, testá-la e projetar a eficácia da idéia com a ARF, onde injeções transformam os efeitos indesejáveis em situações desejáveis;
- verificar se a solução não trará efeitos negativos, ou encontrará obstáculos, através de uma análise de problemas potenciais ('sim ... mas') com os demais participantes;
- validar o modo de superar obstáculos através da APR, desenvolvida em grupo;
- identificar receios não-verbalizados pela equipe envolvida e formalizá-los em conjunto com o plano de ação na AT.

Este processo de gerenciamento da mudança será usado na proposta central deste trabalho.

## 2.4 A PRODUÇÃO SINCRONIZADA NA INDÚSTRIA DE PROPRIEDADE

Exposta a abordagem *TOC* genérica para a sincronização da manufatura e o processo de gerenciamento de mudanças, caracteriza-se a seguir a indústria de Propriedade, visando a compor os elementos necessários para considerar a produção sincronizada em seu contexto.

### 2.4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE PROPRIEDADE

A busca de competitividade no ambiente concorrencial acarretou significativas mudanças nas formas da organização e gestão do trabalho, como o *JIT*, *TQM*, *STP* e *TOC*. Estas mudanças, de cunho gerencial, dirigiram-se fundamentalmente à indústria da Forma, por ser este o principal foco concorrencial no pós-guerra (SALERNO, *apud* HANSEN, 1966)<sup>1</sup>. Já a indústria de Propriedade teve sua produtividade aumentada através da automatização industrial, baseada na tecnologia dos controladores eletrônicos e da informática, em conjunto com modificações de processo, baseadas em pesquisa e desenvolvimento de caráter puramente tecnológicos. Para HANSEN (1996), o aumento da produtividade na indústria de Propriedade, diversamente da indústria da Forma, não implicou mudança no modo de gestão.

Como o objetivo principal deste trabalho de conclusão é transportar uma técnica consagrada na indústria de Forma para a indústria de Propriedade, considera-se oportuna a caracterização desta indústria, em oposição àquela, para que resulte claro o cenário onde se investigará.

Segundo HANSEN (1996), a indústria de Propriedade se caracteriza pela produção de um único produto ou família de produtos, em larga escala, cujas propriedades o distinguem.

---

<sup>1</sup> A indústria de Propriedade também ficou exposta ao ambiente concorrencial internacional, agravado com as recentes exigências de controles ambientais, condições de saúde ocupacional, qualidade de vida no trabalho e direitos do consumidor, explicitadas por diversas normas internacionais, como as normas ISO.



Trata-se de complexo integrado e sequencial de equipamentos, operando simultaneamente, transformando a matéria-prima, que adquire propriedades e se transforma no produto acabado. Via de regra, os processos exigem condições ambientais que inviabilizam a presença humana, limitando-a a ações intelectuais e decisões baseadas no conhecimento e informação. O volume e o tipo de produção é dependente da qualidade da mão-de-obra e independe da quantidade alocada. A produção é medida em unidades mássicas, volumétricas ou não difere do recipiente que a contém, e não em unidades discretas, como na indústria de Forma. Os conceitos de lote de produção e lote de transferência são definíveis, porém não é definível o lote unitário. *Lead-time* também só é definível se associado a um lote de produção ou transferência. A programação de produção é feita a partir de uma previsão de vendas, composta de um *mix* de produtos originado de:

- pedidos de distribuidores que objetivam à reposição de estoques;
- clientes institucionais com programação cativa;
- estimativas de movimentação do mercado do pequeno consumidor;
- contratos de fornecimento de escopo determinado.

Salvo exceções, como a indústria bioquímica (vacinas) ou aços especiais, pouco se observa a produção por encomenda. As entregas são mais dependentes da reserva de produção disponível (capacidade produtiva menos vendas) do que da programação, cujo horizonte de planejamento é fixo. Objetivam-se metas de produção brutas, em toneladas por hora ou outra unidade equivalente, mais do que o cumprimento de datas devidas. O *set-up* é geralmente pequeno, limitado a trocas e limpezas de rotas de matéria-prima ou de produto acabado, e modificações de receitas<sup>1</sup>. A maior parte dos custos é devida a matéria-prima e energéticos e capital para compra e manutenção de equipamentos. A adoção da produção sincronizada

---

<sup>1</sup> *Set-up's* maiores são favorecidos pelo horário de restrição de energia elétrica, ou “horário de ponta”, que interrompe diariamente a produção por três horas, em dias úteis, entre 18:00 e 22:00 hrs.

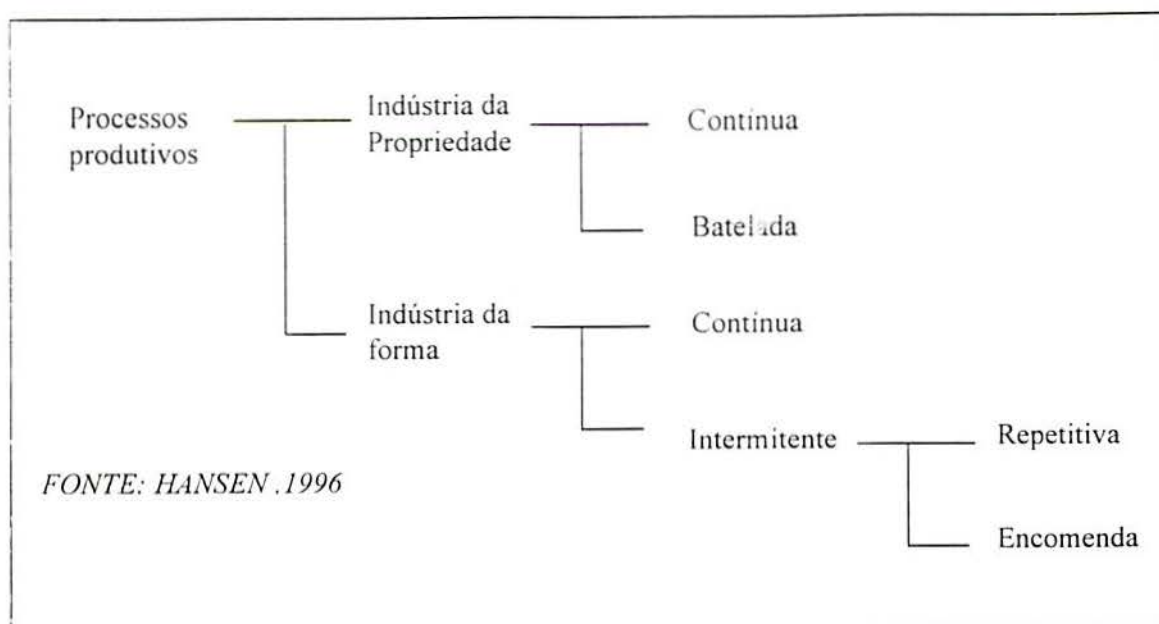
previne a formação de inventário e representa benefício relevante ao postergar despesas com matérias-primas e energéticos e evitar investimentos fora da restrição.

Devido à necessidade de informação, os recursos humanos ociosos, com custos pouco relevantes, podem ser treinados nas horas disponibilizadas pela produção sincronizada, nos aspectos que mais resultados agregam à empresa: a formação tecnológica.

São exemplos da indústria de Propriedade a indústria química e petroquímica, cimenteira, papel e celulose, geração de energia térmica e alimentícia. A siderurgia e a indústria vidreira podem trafegar nas duas classificações, pois a seus produtos interessam a propriedade (p. ex. chapas de aço, vergalhões para construção civil, lâminas de vidro temperado) e a forma (perfis para construção mecânica, copos e cristais). O Quadro 2.4 e a Figura 2.6 contém diferenças importantes entre a indústria de Forma e a indústria de Propriedade.

<b>Característica</b>	<b>Indústria de Forma</b>	<b>Indústria de Propriedade</b>
<b>Valor de uso</b>	dimensional	propriedades
<b>Valor agregado por</b>	mão-de-obra	tecnologia
<b>Investimento</b>	baixo ou médio	alto
<b>Custos mais relevantes</b>	mão-de-obra e matéria-prima	matéria-prima e energéticos
<b>Variedade/Volume de lote de produção</b>	alta/ baixo	baixa/alto
<b>set-up</b>	muito relevante	pouco relevante
<b>Mão-de-obra/ Treinamento</b>	intensiva (quantidade) / operacional	extensiva (qualidade) / tecnológico

**Quadro 2-4: Síntese comparativa entre indústria de Forma e Propriedade**



**Figura 2-6: Classificação dos sistemas produtivos quanto à transformação**

#### **2.4.2 AS TRANSFERÊNCIAS LOGÍSTICAS NA INDÚSTRIA DE PROPRIEDADE**

A logística se preocupa com a movimentação dos bens e matérias-primas para utilização no processo de produção, sendo a gestão da cadeia de suprimentos decisiva no sucesso da organização. Cada vez mais, a competição se dará entre cadeias de produção concorrentes e não mais apenas entre empresas isoladas, estendendo-se a competitividade a todos os membros envolvidos na trajetória do produto. Outro objetivo do gerenciamento da cadeia de suprimentos é o de manter o nível de estoque minimizado e reduzir perdas (AARS, 1999). A otimização das cadeias de suprimento combina funções operacionais, transacionais e estratégicas, visando a uma solução que atenda a todo o empreendimento. Em ambientes de produção sincronizada, aumenta a importância do gerenciamento das tarefas principais e das tarefas de suporte. Acerca desta importância, escreve LISCHESKA (1998, página 63):



“Em ambiente sincronizado, as atividades que diretamente criam valor para o cliente tornam-se o foco para toda a organização. Atividades incrementadoras de valor produzem bens que os clientes querem comprar, por um preço que estão dispostos a pagar. Estas atividades devem ser executadas com a máxima eficiência e aderência a prazos, restringidas apenas pela capacidade dos recursos designados, e otimizadas para atender aos objetivos da organização.”

“As atividades de suporte também devem ser sincronizadas, garantindo que todo recurso necessário ao processo de criação de valor esteja disponível no momento e no local preciso. A redução de inventário e tempo de atravessamento resultante não permite muita margem para erro, portanto monitoração contínua e acurada é crítica, tanto para informação, como para correção de curso nas operações, sempre que mudanças ocorridas assim o exigirem”.

As cadeias logísticas na indústria de Propriedade são determinadas pelas transferências internas ou externas que ocorrem entre unidades. São elas:

- **Processos contínuos:** A transferência é *on-line*, sendo realizada a medida que o processamento acontece. A taxa de transferência é determinada pelo processo a montante. Exige armazenamento intermediário, para compensar desnivelamentos.
- **Processos interligados em batelada:** A transferência é em lotes, sendo realizada a medida que determinado volume de processamento é atingido. O lote e a taxa de transferência podem ser determinados tanto pelo processo a montante como pelo processo a jusante, dependendo da estratégia de produção (“puxada” ou “empurrada”), e da capacidade do contenedor (silo, tanque, pavilhão, etc). A transferência pode ser mecânica, pneumática ou veicular (rodoferroviária ou marítima).

### 2.4.3 A AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL NA INDÚSTRIA DE PROPRIEDADE

Na indústria de Propriedade, a automação industrial é instrumento fundamental para a redução do estoque em processo, ao possibilitar o gerenciamento baseado em informações, a partir de dados integrados. Caracteriza-se a seguir a automação industrial na indústria de Propriedade, através de exemplos da indústria cimenteira e conceitos a serem explorados em outros pontos deste trabalho de conclusão.

Automação é uma palavra-chave. Não é possível conceber uma unidade produtiva sem alto nível de integração de processos por instrumentos eletrônicos. A evolução inicia ao transferirem-se os painéis de comando locais, junto aos processos, para salas de operação remotas. Afastou-se o operador do processo produtivo, desaparecendo o contato visual entre ambos, tomando-se as decisões em função das indicações de instrumentos remotos. Criaram-se a sala de comando e a operação multifuncional. A introdução de equipamentos automáticos de regulação analógicos trouxe produções mais uniformes e rendimentos muito mais elevados. O passo imediato e natural foi a introdução de computadores industriais e equipamentos digitais, elevando ainda mais os resultados. A perspectiva histórica de hoje confirma a correção desta linha evolutiva. Para SCHMIEDGEN & MAGALLON (1983), o emprego da automação industrial em larga escala consolidou uma forma de trabalhar na indústria cimenteira, traduzida em uma análise clara e estruturada dos sistemas produtivos e normas de serviço e exigências superiores de confiabilidade e segurança do processo.

Topologicamente, projetos de automação contemplam três estágios (FOMINAYA, 1987):

- **nível de processo**, incluindo instrumentos do tipo *stand-alone*<sup>1</sup> ou elementos primários de medição ou atuação, onde se incluem:

---

<sup>1</sup> Equipamento que executa sua tarefa sem se comunicar com outros dispositivos de automação

- medidores de sinais como vazão, pressão, temperatura;
- atuadores de válvulas;
- acionamentos para regulação de velocidades em motores;
- **nível distribuído**, em sala elétrica, onde incluem-se os Controladores Lógicos Programáveis (CLP);
- **nível de supervisão**, em sala de comando, onde incluem-se os computadores de processo, que rodam sistemas de supervisão ou sistemas *expert* de processo;

Recentemente, a automação industrial interligou-se a outro nível, existente na organização:

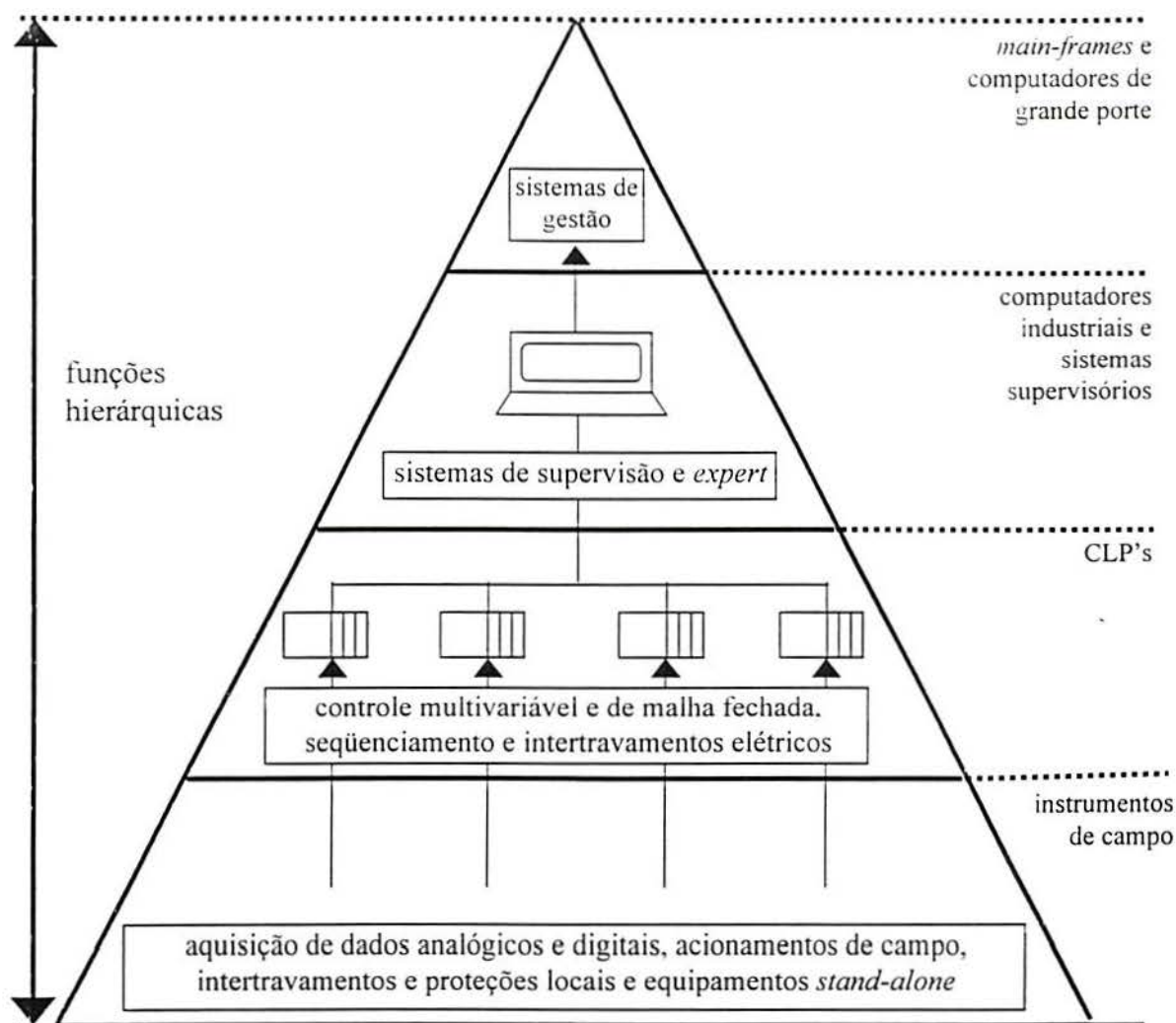
- **nível de gestão**, onde incluem-se os computadores corporativos, gestores das áreas comerciais, de suprimentos, estratégia, seqüenciadores e simulação.

As relações hierárquicas e as tarefas típicas de cada nível são como na Figura 2.7, adaptada de OSTMEIER (1983) e FOMINAYA (1987). Esta estrutura descentralizou decisões de chão-de-fábrica e consolidou o conceito de inteligência distribuída, já que os dados passaram a circular em redes industriais. Cada área de produção funciona autonomamente, com lógica automática própria e sem interferências mútuas, concentrando-se os dados na sala de comando. A interligação do chão-de-fábrica com sistemas de estratégia e gestão é simples e confiável.

A automação trouxe os seguintes benefícios às cimenteiras (FOMINAYA, 1987):

- aumento das informações disponíveis para controle e gerenciamento de processos;
- eliminação de erros de operação, pela imensa possibilidade de intertravamentos;
- aumento da vida útil de equipamentos, pelo maior número de alarmes disponível;
- redução de custos e defeitos pela eliminação de cabos elétricos;
- emprego de estratégias operacionais inovadoras, pelo uso de inteligência artificial.





FONTE: adaptada de OSTMEIER (1983) e FOMINAYA (1987)

Figura 2-7: Hierarquia funcional da automação

O gerenciamento da qualidade também modificou-se com a introdução dos equipamentos eletrônicos de automação. O imenso salto de qualidade obtido recentemente se deu através de instrumentos sofisticados *stand-alone* ou integrados, como (WELZ, 1987)<sup>1</sup>:

- medidor *on-line* de finura de cimento e ajustador de processo;
- coletor e transportador automático de amostras de processo;

<sup>1</sup> A automação do gerenciamento da qualidade trouxe à indústria do cimento estabilidade de processo, redução na variabilidade e conseqüente redução de custos na aplicação de seus produtos (WELZ, 1987).

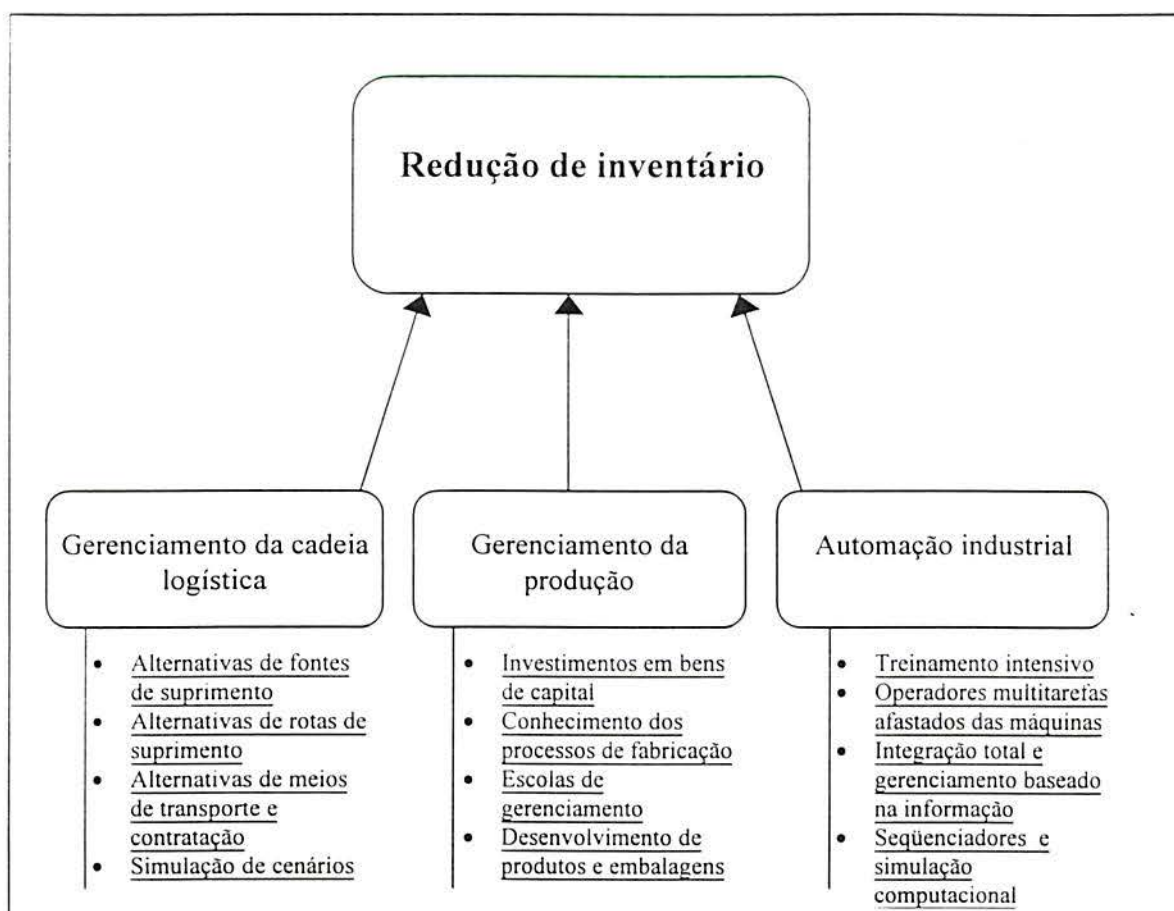
- analisadores automáticos de laboratório, com emprego de regressões matemáticas na determinação de composições químicas.

O desenvolvimento da automação na indústria de Propriedade volta-se agora para a interface com o cliente. Desenvolve-se, já com aplicações em andamento, automação completa das transações comerciais, integrando as áreas de vendas e os despachos de produto, pelo emprego da tecnologia de códigos de barras. Estas transações dão-se assim:

- cliente fecha negócio por central telefônica manual ou automática;
- cliente recebe horário e baia de carregamento;
- transportador recebe cartão com código de barras para carregamento;
- na hora programada, transportador tem acesso à baia de carregamento;
- transportador informa por cartão com código de barras as características da carga;
- carga acontece automaticamente, pesada em balança rodoviária local;
- transportador recebe nota fiscal ao fim do carregamento, encerrando a transação.

A automação industrial reduz variabilidades e incertezas na produção e despacho, reduzindo a necessidade de segurança. Ao interligar *on-line* os dados assegurados de chão-de-fábrica com sistemas de gestão estratégica e simulação, possibilita que, através do emprego destes sistemas, se atinja o objetivo de redução de inventário na indústria de Propriedade.

A automação industrial se une ao gerenciamento da produção e as cadeias logísticas na subordinação à redução de inventário. A melhoria da logística e de produção racionaliza os materiais, reduzindo incertezas e estoques de proteção. Já a automação possibilita a gestão integrada de dados e informações e decisão via seqüenciadores automáticos e cenários simulados, escolhendo-se a alternativa operacional que gerará menor estoque em processo, enquanto a mão-de-obra multifuncional reduzida só opera na direção da meta da empresa. Tópicos relevantes destes aspectos e suas relações com a redução de inventário são apresentados na Figura 2.8.



**Figura 2-8: Subordinação à redução de inventário**

## **2.5 A SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA NO PROCESSO DE MELHORIA**

Devido aos altos custos envolvidos na indústria da Propriedade, o que inviabiliza a maior parte dos testes reais, torna-se relevante o uso da simulação neste trabalho. Simulação é a tentativa de reproduzir o mundo real através de um modelo, operado a partir de um conjunto de hipóteses (RIBEIRO, *apud* VACCARO, 1997). Seu fundamento é antigo, incluindo desde a construção de maquetes para visualização de projetos até artifícios para treinamento em práticas desportivas. A partir de recursos computacionais, modelam-se situações complexas ou de longa maturação, como mecanismos de estresse, fadiga em componentes, ou oscilações



valores financeiros, permitindo a investigadores a predição do comportamento de sistemas de difícil modelagem matemática (VACCARO, 1997).

MONKS (1987) cita as seguintes situações, onde o emprego da simulação é vantajoso:

- sistemas de difícil modelagem matemática;
- sistemas reais sujeitos a riscos;
- necessidade de longo tempo de observação;
- sistemas reais sujeitos a alto custo.

Para MENEZES & RODRIGUES (1999), avaliações incorretas têm desaconselhado investimentos ou exigido esforços que, por não contemplarem as verdadeiras restrições de processo, resultam ineficazes. A complexidade dos sistemas de produção e das alternativas exige uma postura multicriterial. Cabe à engenharia industrial integrar habilidades de engenharia com ferramentas de matemática e informática, para formular e construir modelos para projeto, análise e predição (PRITSKER, *apud* MENEZES & RODRIGUES, 1999).

Em certos casos, a simulação computacional é a única ferramenta suficientemente complexa, a ponto de considerar simultaneamente todas as variáveis atuais e projetar cenários futuros, de acordo com as várias alternativas disponíveis. Consiste na construção de um modelo matemático, descrevendo um cenário real, que pode ser testado em diferentes configurações ou cargas de trabalho. O modelo deve ser o mais aderente possível à realidade, sem ser, no entanto, tão complexo que não possa ser manuseado de modo simples.

Entende-se que a introdução da produção sincronizada em indústria de processamento contínuo de Propriedade é suficientemente complexa e suas relações internas tão intimamente articuladas, que as incertezas inerentes a uma investigação de cenário futuro meramente especulativa não confeririam ao analista confiabilidade suficiente para decisão. Recorde-se que, no ambiente focalizado, os valores contam-se em milhões de dólares, não sendo permitidas avaliações inseguras ou incompletas, pela impossibilidade de correção ágil no pesado impacto

na cadeia produtiva<sup>1</sup>. A logística envolvida requer meios multimodais de transporte, como vias rodoferroviárias e marítimas, e *lead-times* que podem chegar a meses. Discernem-se neste cenário os quatro pontos acima listados por MONKS (1987), concluindo-se que a simulação computacional é uma ferramenta adequada para avaliar a introdução da produção sincronizada na indústria de Propriedade.

### 2.5.1 A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA GESTÃO DE ESTOQUES

O emprego da simulação computacional é amplamente aceito como ferramenta de análise de gestão de estoques. Emprega-se esta técnica desde a época em que computadores eram pouco acessíveis, pela dificuldade de avaliação prévia dos resultados obtidos com diferentes políticas de estoques. A respeito do emprego da simulação computacional como ferramenta de análise de política de estoques, BROWN (1959, página 89) escreve:

“A interação entre as muitas regras que governam o controle de estoque são tão complexas que, sem a simulação do sistema, é quase impossível determinar qual será o efeito final. A análise matemática pode dar alguma idéia sobre o que acontecerá, mas ... sempre existe a possibilidade de que o sistema real ... não possa ser tão efetivo quanto antecipado.”

“Seu controle de inventário atua no ponto central de seu negócio e você deseja estar seguro de que terá sucesso na mudança de sistema de controle. A simulação torna possível estudar alternativas para selecionar a melhor delas para seu problema particular e então demonstrar que o sistema lida satisfatoriamente com todas as contingências concebíveis”.

---

<sup>1</sup> Recorde-se ainda que o inerente ceticismo dos agentes envolvidos no processo de decisão requer comprovação formal das decorrências de uma decisão tão relevante.

Para planejar uma simulação na produção utilizam-se valores estimados para os dados de interesse (tempos, capacidades, etc.). Esta estimativa é normalmente a média de diversas medições, pois os valores efetivos de cada ocorrência flutuam ao seu redor. Do mesmo modo, quando partes são processadas em centros de trabalho sucessivos, há tendência a formação de estoque intermediário ou interrupção de produção, pelo não-sincronismo das flutuações estatísticas de cada centro (WALTER, 1998). Para conferir máxima aderência à realidade, consideram-se estas flutuações e suas interferências mútuas, coletando-se uma quantidade suficiente de dados e obtendo-se uma distribuição de frequência que descreva satisfatoriamente a variável. Deve-se ainda considerar a prática de várias repetições do experimento, geradas a partir de números aleatórios.

A geração de números aleatórios ocupa posição fundamental nos estudos de simulação. O fundamento da geração de números aleatórios para uma dada distribuição exige que estes números sigam a distribuição uniforme padronizada, ou seja, assumam valores com igual probabilidade de ocorrência, distribuídos no intervalo  $[0,1]$ . No ambiente computacional não se obtêm números em sequência completamente aleatória. A opção geralmente adotada em vários simuladores é a geração de seqüências de números pseudo-aleatórias, isto é, seqüências periódicas de números com comportamento suficientemente imprevisível a “olho nu”, com período muito grande (VACCARO, 1997). Para VACCARO (1997), as principais vantagens deste método são a possibilidade de se obterem estimativas e predições diretamente do modelo computacional, sem necessidade da montagem física de todo o sistema, e a flexibilidade de alterações do modelo gerado, permitindo-se verificar facilmente o efeito da alteração de uma política ou estratégia. Na simulação a ser conduzida, através da variação da semente randômica, cada experiência será replicada dez vezes, de modo a que a média obtida incorpore as variações dos dados e das relações entre as etapas do processo.



### 2.5.2 A ESCOLHA DO SIMULADOR

Para RODRIGUES (1994), a escolha de um simulador envolve um *trade-off* entre flexibilidade e especialização do usuário. Um sistema totalmente flexível permite a descrição perfeita da realidade, porém exige um alto nível de especialização do analista e tempo elevado para a depuração do modelo. Já um simulador simples e acessível ao analista de decisão, principalmente quanto à interface homem-máquina, pode deteriorar a precisão do modelo. Uma ferramenta de simulação deve então suportar a construção de modelos matemáticos consistentes com a realidade, ser flexível para oferecer mudanças de cenário e amigável para que o processo gerencial de análise não dependa da construção de extensos modelos computacionais. A chave do sucesso está em escolher um simulador que seja suficientemente simples para não onerar a análise, suficientemente preciso para aderência adequada do modelo à realidade, e parametrizável, para que o cenário proposto seja facilmente testado em diferentes situações de trabalho. Entende-se que o simulador *Micro-Saint* atende aos requisitos acima, sendo o escolhido para a avaliação da proposta deste trabalho.

O processo de simulação será composto das seguintes etapas:

- determinação dos dados necessários para a construção do modelo;
- coleta destes dados por um período que garanta a consistência do modelo;
- determinação das relações que descrevem os processos, com apoio de *software* de modelamento estatístico;
- determinação das relações entre os processos e construção do modelo;
- teste de aderência à realidade e correção do modelo;
- definição do cenário a investigar;
- teste da parametrização ótima do cenário;
- extração de conclusões.

### 2.5.3 A FERRAMENTA ESTATÍSTICA ANOVA

Em conjunto com a simulação, emprega-se, para teste dos cenários obtidos, a análise de variâncias de um fator (*one-way anova*). A *anova* é uma ferramenta estatística cujo objetivo é identificar se as respostas de um sistema diferem significativamente entre si, quando um fator de controle é modificado. Realizam-se várias replicações do mesmo tratamento<sup>1</sup>. A *anova*, através do teste F e do valor P, indica, com um nível  $\alpha$  de significância, se as diferenças dos resultados são devidas a ruído estatístico natural, ou se existe diferença entre os grupos. Em resumo, a *anova* indica com uma dada probabilidade de certeza se o fator variado afetou ou não o resultado do tratamento (RIBEIRO & TEN CATEN, 1999)<sup>2</sup>.

Considerem-se duas hipóteses:

- H0: não há diferenças significativas entre os grupos;
- H1: há diferenças significativas entre os grupos.

Calcula-se a estatística  $F = (\text{média quadrática entre grupos})/(\text{média quadrática de resíduos} = \text{MQR})$  e obtêm-se o fator F da tabela da distribuição F, para os graus de liberdade e  $\alpha$  especificados. Para F calculado maior que F tabelado, descarta-se H0, ou seja, há diferenças entre os grupos (RIBEIRO & TEN CATEN, 1999). Neste caso, ainda resta determinar qual ou quais grupos se diferenciam dos demais. Não se indicam testes estatísticos em série, aplicados dois a dois, pois haveria perda de significância. Com seis testes ( $C_2^4 = 6$ ) e  $\alpha = 0,05$  o nível total de significância seria  $1 - (1 - 0,05)^6 = 0,26$  (CHATFIELD, 1978). Adota-se então a comparação múltipla de médias. Calcula-se o desvio padrão das médias  $s_{\bar{x}} = \sqrt{MQR/10}$ , toma-se como limite de decisão o valor  $3s_{\bar{x}}$  e ordenam-se os tratamentos pelas médias. As diferenças são

<sup>1</sup> Um novo tratamento ou grupo é obtido cada vez que o fator de controle é alterado.

<sup>2</sup> No caso em estudo haverá dez replicações, sendo as variáveis de resposta as quantidades de produto entregues, e o fator de controle o nível de inventário de matéria-prima no hangar (pulmão de proteção). Será empregada a rotina *one-way Anova* do *software* Excel™ da Microsoft™ e complementos necessários.

consideradas significativas se as médias diferirem por mais de  $3 s_{\bar{x}}$ . Representam-se por barras contínuas unidas superiormente as médias que não diferirem entre si. (RIBEIRO, ECHEVESTE & WERNER, 1998).

## 2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, descreveram-se conceitos e princípios que têm centralidade no objetivo do trabalho: a redução de inventário na indústria de Propriedade. Considerou-se a evolução do gerenciamento da produção, a ligação da filosofia *JIC* com a Contabilidade de Custos, e destacou-se o surgimento da idéia do inventário como perda, a partir de técnicas como o STP, *MRP/MRP II* e *TOC*. Traçou-se uma linha de implantação de melhoria contínua na organização a partir do gerenciamento dos pulmões, descreveu-se o processo de gerenciamento da mudança apoiado pelas ferramentas de raciocínio da *TOC*, que será usado na busca do objetivo central deste trabalho, descreveu-se e contextualizou-se como cenário a indústria de Propriedade, destacando-se a automação industrial, o gerenciamento da produção e as cadeias logísticas como elementos importantes na redução de inventário. Considerou-se ainda o emprego da simulação computacional, associada à *anova* e à comparação múltipla de médias, como ferramenta de avaliação de alternativas complexas, como a introdução da produção sincronizada na indústria de Propriedade.

O referencial teórico construído será empregado para subsidiar o caso em estudo, que se inicia no próximo capítulo.



## CAPÍTULO III

### 3. O CASO EM ESTUDO: O SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CIMENTO DO GRUPO VOTORANTIM NO RS

#### 3.1 INTRODUÇÃO

O grupo Votorantim é um grupo de empresas nacional, atuando principalmente nas áreas química, de mineração, metalurgia e siderurgia. Entre outros produtos, destaca-se a fabricação de cimento e materiais aglutinantes para construção civil, como argamassas. Desenvolve-se a seguir o conceito de cimento, seus processos de fabricação, necessidades logísticas e demais informações necessárias para contextualizar o trabalho.

##### 3.1.1 CONCEITO DE CIMENTO

Segundo FARENZENA (1995), cimento é um produto utilizado para unir firmemente outros materiais, principalmente na construção civil, permitindo a construção de estruturas resistentes e duráveis. O efeito ligante ocorre a partir do contato com a água. Os egípcios, em 3.000 A.C., já procuravam um material aglutinante que resistisse à umidade. Inicialmente, usou-se a lama do rio Nilo, depois agregada a gesso natural calcinado e cal, como argamassa para revestimento e união das pedras das antigas edificações. Há 2.000 anos, os romanos utilizavam um material de construção chamado *Pulvis Puteolonis*, extraído das encostas do monte Vesúvio, na região de Napoli, na Itália, em uma localidade hoje chamada Pozzuoli. Este material, conhecido como pozolana, misturado a cal e agregados, foi amplamente

empregado nas obras do império romano, ainda hoje testemunhas da durabilidade destes. Relatos do início do século XIX, baseados nas patentes de Vicat (Paris, 1818) e Frost (Londres, 1822), descreviam os métodos de fabricação de cimento como um processo no qual se moía calcário, misturava-se argila e calcinava-se em fornos verticais. Em 21 de outubro de 1824, Joseph Aspdin patenteou um produto calcinado e moído em moinhos manuais, de coloração acinzentada, similar às pedras da ilha inglesa de Portland, com o nome de cimento Portland.

### 3.1.2 COMPOSIÇÃO DO CIMENTO

Segundo FARENZENA (1995), o processo de fabricação de cimento passou por sucessivos aprimoramentos, sendo hoje uma tecnologia conhecida e consagrada no mundo inteiro. Nas duas últimas décadas, o aumento de conscientização ecológica e a escassez de recursos naturais forçaram o desenvolvimento de tecnologias altamente eficazes, empregando principalmente a automação industrial, o que transformou sobremaneira o processo produtivo. Nos mais desenvolvidos centros industriais do mundo já se fala e se pratica na produção de cimento o conceito de “fábrica cega” (PIERACCIANI, 1997), ou seja, fábricas totalmente automatizadas, independentes do fator humano, e controladas por sistemas com capacidade de aprendizado, nas quais seria desnecessário até mesmo prever iluminação.

O cimento, cuja composição varia levemente de acordo com as matérias-primas disponíveis em cada região, é composto da mistura e dosagem de minerais, finamente moídos, em instalações de moagem compostas de moinhos de bolas e equipamentos auxiliares. Este trabalho tratará de cimentos CP-IV e CP-I-S, cujas composições aproximadas e respectivas origens, determinantes da cadeia logística, encontram-se no Quadro 3.1.

<b>componente</b>	<b>origem</b>	<b>CP-IV</b>	<b>CP-I-S</b>
<b>clínquer</b>	fabricado em forno rotativo, a partir de calcário	57%	90%
<b>calcário</b>	extraído de jazida natural, na região de Candiota	5%	5%
<b>gesso</b>	extraído de jazidas naturais, em SC e SP	5%	5%
<b>cinza</b>	resíduo de queima de carvão mineral, contingenciado	≤33%	0%
<b>pozolanas</b>	suprem as faltas de cinza, da região de Butiá	var.	0%

**Quadro 3-1: Composições dos cimentos participantes da análise**

### **3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CIMENTO**

Um processo típico completo de fabricação de cimento é representado no fluxograma da Figura 3.1, com os principais pontos de acumulação de inventário, que são os silos de cru e cimento, hangar de matérias-primas e pilha de pré-homogenização. Segundo FARENZENA (1995), são as seguintes as etapas de fabricação de cimento:



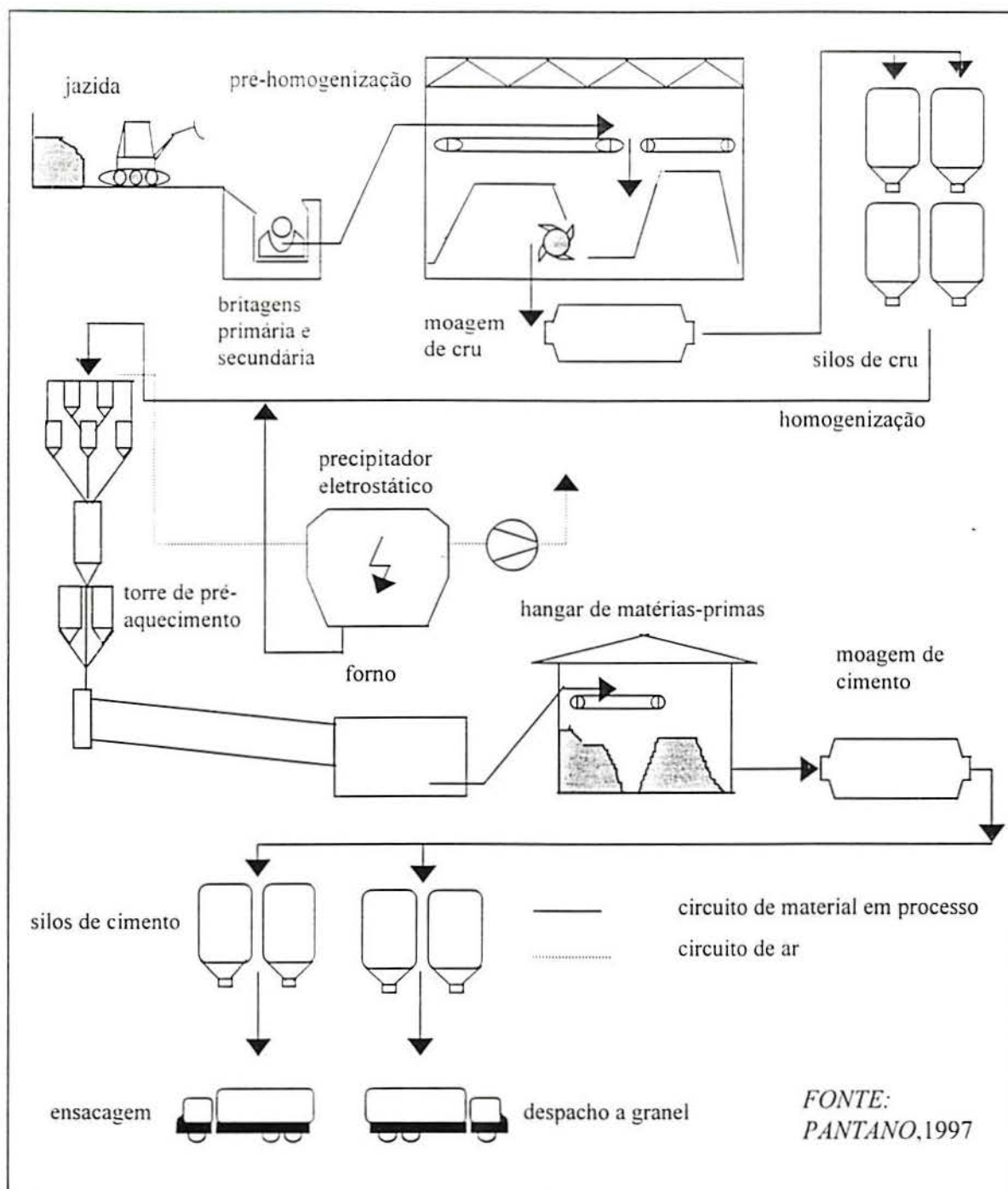


Figura 3-1: Fluxograma típico de uma unidade produtora de cimento

### 3.2.1 MINERAÇÃO

É o processo de desmonte, extração e remoção dos minerais que constituem a matéria-prima do cimento, normalmente composto de calcário, argila e material estéril. Devido à dureza da rocha, emprega-se explosivo para o desmonte, sendo a extração realizada por equipamento mecânico do tipo pá carregadeira. Após extraído, o material é separado, em parte útil e parte estéril, por processo adequado a cada jazida. Para aproveitamento do transporte, reduz-se a granulometria, através de fragmentação e cisalhamento do material, em duas etapas de britagem. Normalmente, a britagem primária é realizada junto à própria jazida, e a britagem secundária é realizada junto ao próximo processo. O transporte entre o britador primário e o britador secundário é feito por caminhão *off-road* monoposto. O grau de redução de granulometria nas duas britagens é da ordem de 50:1 (de 500 a 1.000 mm para de 10 a 25 mm de diâmetro equivalente).

Após as britagens, principalmente a secundária, forma-se uma pilha de material, chamada de pré-homogenização. A pilha de pré-homogenização tem como função definir e pré-adequar os parâmetros ou módulos químicos do material empilhado, através da dosagem ou *blending* de calcários ou argilas extraídos de diversas frentes de uma jazida, ou, até mesmo, de diferentes jazidas. É necessário o conhecimento prévio da composição físico-química e mineralógica das matérias-primas originais para aumentar o grau de precisão da pilha.

Vários algoritmos de empilhamento são empregados, entre os quais destaca-se o algoritmo de Chevron. A pilha tem a forma de um tronco de cone vazado no meio, como um pudim, sendo formada circular e horizontalmente e desformada radial e verticalmente. Desta forma, calcários de origens diversas são mesclados e suas diferenças atenuadas. Quanto mais homogêneo for o material, mais simples será a correção na fase seguinte.

A mineração gera ao menos dois tipos de calcário: o calcário principal e o calcário aditivo, que possuem conteúdos de carbonato total diferentes. O calcário principal (carbonato alto) será destinado à moagem de cru e o calcário aditivo (carbonato baixo) será empregado como corretor físico-químico no cru e *filler* na moagem de cimento.

### 3.2.2 MOAGEM DE CRU

O material extraído da pilha de homogenização é chamado de material cru (*raw material*). A moagem de cru executa a secagem e moagem de materiais *in natura*, transformando-os em uma mistura finamente moída, chamada de farinha. A moagem de cru ocorre classicamente em moinhos tubulares de bolas, ou mais recentemente, em moinhos verticais de rolos. Os conceitos de circuito fechado, tiragem forçada e separação mecânico-pneumática descritos na moagem de cimento também são aplicados na moagem de cru.

Ajustam-se os parâmetros físico-químicos da farinha através da alimentação e dosagem dos dois tipos de calcário descritos. Após este ajuste, a farinha produzida é armazenada em silos, onde passa por novo processo de homogenização, que emprega lógicas diversas de alimentação e extração ou circulação de farinha entre silos diferentes. Homogenidade e estabilidade dos módulos químicos da farinha são fundamentais para operação da próxima etapa (forno), onde exige-se perfeita assimilação e combinação da farinha com o combustível.

### 3.2.3 CLINQUERIZAÇÃO

É um processo de aquecimento e tratamento térmico controlado, a temperaturas de até 1450° C, que provoca um conjunto de reações termoquímicas na farinha, originando o clínquer



*portland*. Os materiais se deslocam por gravidade, em oposição aos gases quentes, sendo a transferência de calor realizada por contato entre os gases gerados na combustão e os materiais alimentados, em uma ou duas torres de ciclones. A tiragem dos gases é realizada por exaustores de alta potência, cuja tomada de ar está no extremo anterior do forno, despressurizando todo o circuito. A saída dos exaustores passa por precipitadores eletrostáticos, onde a farinha residual é recuperada, prevenindo emissões ambientais.

A fonte de calor é o queimador, alimentado por carvão moído, complementado por casca de arroz ou outro combustível alternativo, como óleos pesados, gás natural ou coque petroquímico. O queimador, também chamado de maçarico, fica em oposição ao exaustor, no extremo posterior do forno. Um parâmetro decisivo no controle do forno é o NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>), principalmente por seu impacto ambiental.

O clínquer é um mineral granulado escuro fosco, com propriedades hidráulicas, formado basicamente por quatro compostos cristalinos, responsáveis pela mineralogia, morfologia e características físico-químicas:

- C<sub>4</sub>AF (4.CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>);
- C<sub>3</sub>A (3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>);
- C<sub>2</sub>S (2.CaO.SiO<sub>2</sub>);
- C<sub>3</sub>S (3.2.CaO.SiO<sub>2</sub>).

As principais reações ocorridas na formação do clínquer são:

- descarbonatação dos carbonatos de cálcio e magnésio, transformando-os em óxidos e gás carbônico, segundo:  $\text{CaCO}_3 \Rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$  e  $\text{MgCO}_3 \Rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$ ;
- combinação com óxidos de silício, alumínio e ferro e cinzas dos combustíveis, formando o C<sub>4</sub>AF, C<sub>3</sub>A, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>S.

O clínquer já formado abandona a zona mais quente, sofrendo dois resfriamentos sucessivos:

- 1450 a 1300°C, ainda dentro do forno, onde são cristalizados o C<sub>4</sub>AF e o C<sub>3</sub>A;

- 1300 a 80°C, no resfriador, onde são cristalizados o C2S e o C3S.

O clínquer já refrigerado é transportado e armazenado em silos ou hangares para emprego subsequente na moagem de cimento (FARENZENA, 1995).

A clinquerização é a etapa que mais se relaciona com as severas exigências de controle ambiental, hoje vigentes, nas quais a indústria do cimento participa de dois modos:

- medidas para redução de emissões, originadas principalmente de:
  - óxidos de nitrogênio, chamados NOx (NO+NO<sub>2</sub>), originados do combustível;
  - óxidos de enxofre, originados do combustível e da matéria-crua;
  - amônia e compostos de amônia, originados da presença de argila na matéria-crua;
  - metais pesados, originados do combustível e matéria-prima.
- queima de resíduos descartados pela sociedade, como:
  - casca de arroz;
  - pneus;
  - resíduos perigosos de origem petroquímica e borras de tintas;
  - lixo urbano.

Eliminam-se os óxidos de enxofre, metais pesados e compostos de amônia usando os gases de exaustão do forno como secagem de matérias-primas da moagem de cru. Os óxidos de enxofre combinam-se com o CaCO<sub>3</sub> novo e reativo, que será incorporado ao clínquer produzido. Para a remoção de metais pesados são indicados processos de limpeza de gases, a base de filtros de carbono ou coque ativados. Já o NOx forma-se com temperatura da zona de queima alta. Sua prevenção exige temperatura mais baixa, pelo uso de queimadores multi-estágios, ou limpeza do gás de exaustão na chaminé. Usam-se métodos não-catalíticos, pela adição de compostos a base de amônia aos gases de exaustão ou métodos catalíticos, pelo uso de catalizadores cerâmicos, provocando redução nos óxidos, gerando nitrogênio e vapor de água (ROSE & KUPPER, 1991).

O uso dos combustíveis alternativos tem relevante papel na sociedade de consumo atual e é dependente da capacidade de neutralizar os resíduos gerados durante sua queima. A adoção de pré-calcinadores e resfriadores de grelhas reduziu o consumo energético e permitiu o descarte seguro de rejeitos perigosos gerados pela sociedade, com baixa geração de NOx e alto impacto social (FARENZENA, 1995).

### 3.2.4 MOAGEM DE CIMENTO

A moagem do cimento pode ser feita em circuito aberto ou fechado. Como o processo de circuito aberto está em franco abandono, descreve-se apenas o circuito fechado. O equipamento principal é o moinho tubular de bolas, composto por 2 compartimentos, separados por uma parede divisória equipada por fendas (*slots*), de abertura regulável, por onde é arrastado o produto. As matérias-primas são recebidas via rodo-ferroviária e armazenadas em um hangar. Por ponte rolante, são deslocadas até moegas, de onde, por gravidade, caem em balanças dosadoras de vazão (ton/h), a partir das quais é feita a alimentação e dosagem conforme receita estabelecida pelo operador. A receita é calculada pelos teores da matéria-prima disponível na hora e pelo tipo de produto objetivado. O controle e a realimentação das balanças é automático. O arraste de material ao longo das câmaras é feito por um exaustor de elevada potência, pertencente a um filtro de mangas, que também despoeira o sistema. A vazão de tiragem arrasta o material ao longo das câmaras, moído pela ação dos corpos moedores, que quebram, trituram e misturam os diversos componentes, formando uma massa pulvurulenta e homogênea. Quando atinge a dimensão das fendas de saída, passa da 2ª câmara para um transportador vertical mecânico (elevador), onde ganha altura. Por gravidade, cai em um classificador dinâmico (separador), no qual as partículas

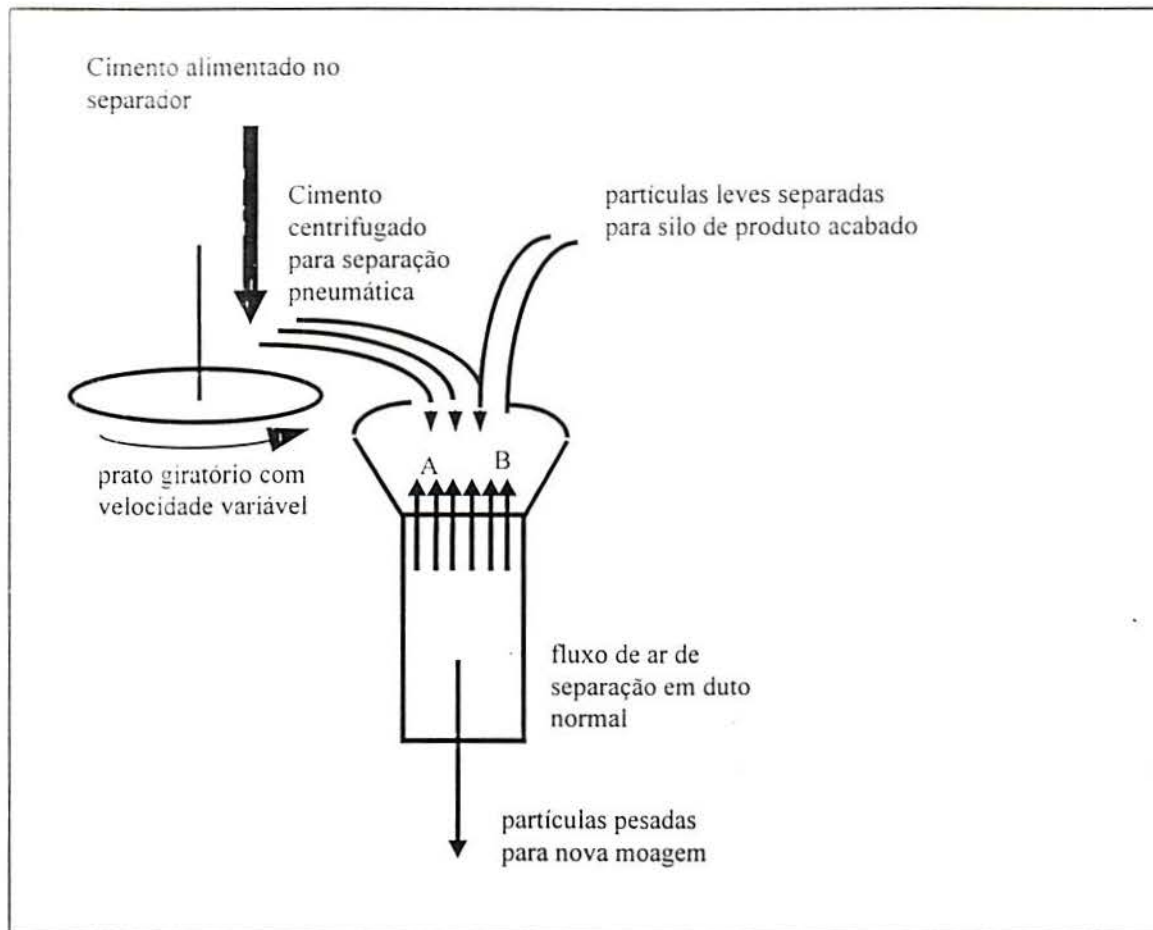


menores que a especificação são separadas da massa total e direcionadas ao sistema de transporte e silagem de produto pronto, junto aos resíduos extra-finos capturados pelo filtro de despoeiramento (aproximadamente 4% do total produzido). A fração grossa é realimentada à 1ª câmara, através de um medidor mássico de vazão, e será moída novamente, até atingir a granulometria desejada. A medição da fração realimentada é de capital importância no ajuste do processo.

O principal elemento do circuito é o separador, que opera mecanicamente e pneumaticamente. A massa produzida cai em um prato dispersor com velocidade controlada por inversor eletrônico CA/CA e é fluidizada verticalmente por ventilador de elevada potência. A partícula dispersa sofre a ação de três forças: peso próprio, força do ar de dispersão e força centrífuga transmitida pelo prato. A força centrífuga joga a partícula na corrente de ar, agindo uma força de arraste proporcional ao quadrado do diâmetro e uma força de gravidade proporcional ao cubo do diâmetro. Crescendo o diâmetro, a força de gravidade prevalece e a partícula cai, não sendo arrastada. O processo é ilustrado na Figura 3.2.

Pode-se dizer que a média do processo é determinada pelo ajuste de velocidade do prato dispersor (gerador da força centrífuga) e a dispersão é determinada pela homogeneidade do fluxo de ar (força de arraste). A finura é afetada pela velocidade da separação. O cimento moído é transportado para silos, sendo possível ainda nova homogeneização por retiradas e transferências alternadas, como na farinha, antes de se alimentar a ensacagem.

A partir de 1990, a moagem para grandes volumes viabilizou-se com a pré-moagem, através do emprego de moinhos de rolos de alta pressão antes do circuito convencional (KNECHT & RANZE, 1991). SEKINE *et alli* (1991) relatam um caso de aumento de produtividade e economia de energia de 60% em uma planta no Japão com a introdução da pré-moagem.



**Figura 3-2: Processo de separação de cimento durante a fase de moagem**

Outra alternativa tecnológica para aumento de produtividade e economia de energia é o emprego de sistemas *expert* de controle de processo. Tais sistemas empregam técnicas *fuzzy*, baseadas em inteligência artificial. Ações usuais de controle de processo manual são traduzidas em regras do tipo “se...então...”, inseridas em um controlador automático, cuja ação aproxima-se daquela que seria desenvolvida por um operador ideal (HOLMBLAD & ØSTERGAARD, 1982). VAAS & KROGBEUMKER (1994) relatam um caso de aplicação de sistema *expert* na Alemanha, no qual foi obtido um aumento de produtividade de 3,0-3,1% e uma economia de energia de 2,9% após o comissionamento. Sistemas *expert* também

promovem aumento de qualidade, pelo uso de regras de controle da velocidade do prato dispersor e da vazão de ar do separador, relacionadas com a vazão de retorno de material (VAAS & KROGBEUMKER, 1994). Um fluxograma completo de moagem, incluindo a pré-moagem, é representado na figura 3.3.

### 3.2.5 ENSACAGEM

O cimento produzido na fase de moagem é conduzido através de transporte mecânico ou pneumático até um conjunto de silos, onde fica protegido da umidade ambiental. O total armazenável corresponde a poucos dias de produção da moagem. A técnica de ensacagem depende fortemente do tipo de veículo que será empregado para retirar o produto da fábrica. As embalagens disponíveis são de 50 e 25 kg., existindo ainda a possibilidade de despacho a granel, no qual o veículo transportador é a embalagem.

Um processo típico de ensacagem compõe-se de:

- **aeração dos silos:** injeta-se ar comprimido no fundo do silo, para desprendê-lo das paredes e fazê-lo fluir por gravidade até os processos posteriores;
- **extração:** escolhe-se o silo de onde será extraído o cimento e direciona-se para este silo a aeração, através de compressor e sistema de supervisão e controle automatizados;
- **transporte:** o cimento extraído é conduzido por gravidade e por leito fluidizado até os processos posteriores;
- **despoeiramento:** através de filtro de mangas, exaustor, válvulas e tubulações, todo o processo é despoeirado, sendo que a contaminação por cimento separada e retornada ao processo e o ar limpo retornado à atmosfera;



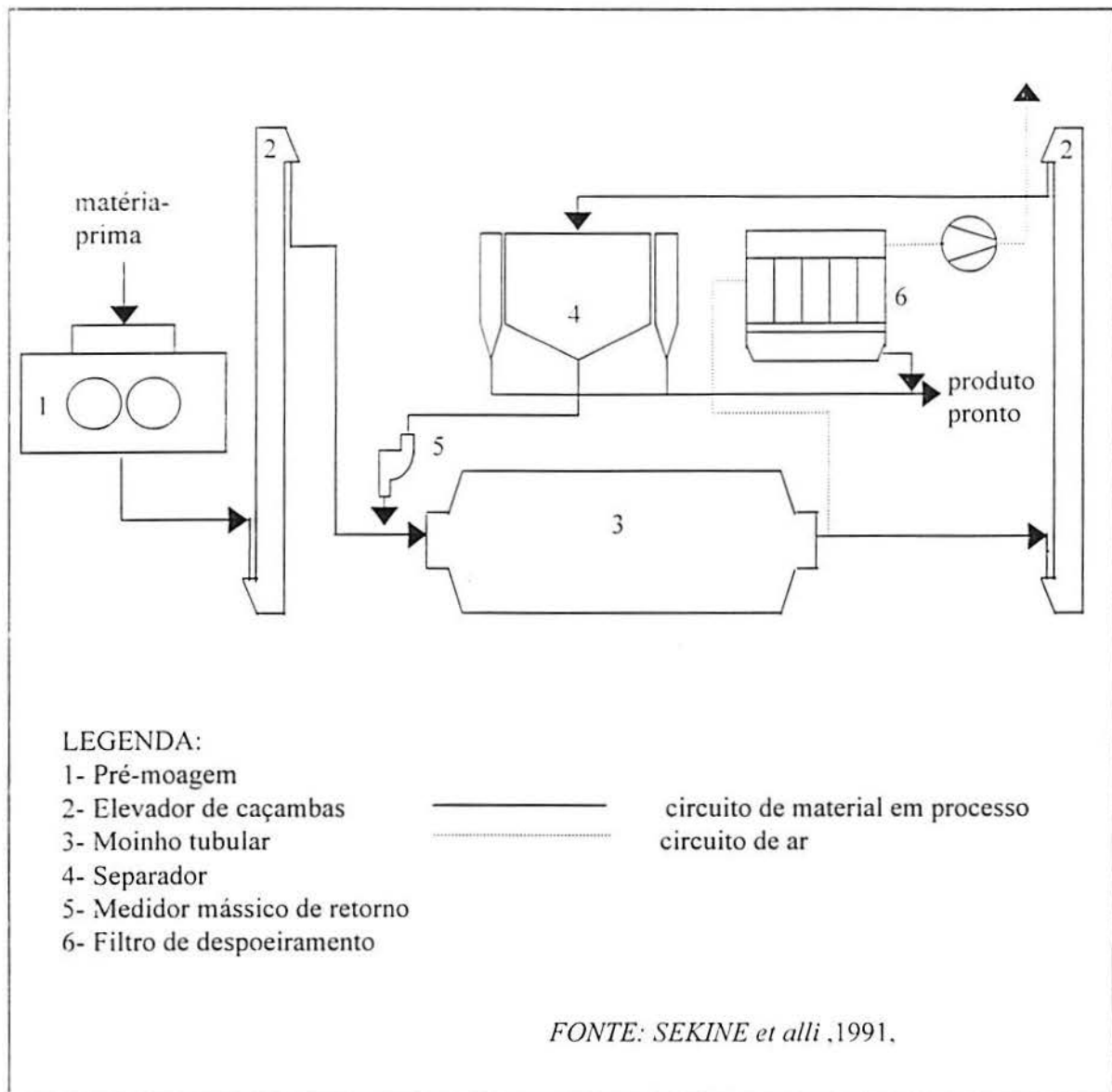


Figura 3-3: Fluxograma de processo de moagem

- **peneiramento:** através de uma peneira vibratória com malha metálica, acionada por motor elétrico e acionamento excêntrico, é separado o cimento com granulometria fina do cimento grosso e corpos estranhos que porventura tenham se infiltrado no processo;
- **armazenagem intermediária:** o cimento recebido é acumulado em uma moega, com sensores de nível, que intertravam a extração. Um sensor de nível baixo liga a extração, o sensor de nível alto desliga a extração e o sensor de nível super-alto desliga o processo e sinaliza emergência;
- **ensacadeira:** máquina eletro-eletrônica-pneumática, que enche os sacos com pesos calibrados em balança eletrônica;
- **aplicação de sacos:** máquina eletro-eletrônica-pneumática, que transporta e arremessa os sacos com velocidade calibrada em direção ao bico da ensacadeira, para enchimento;
- **check-weigher:** dispositivo eletrônico que verifica e corrige o peso saco a saco, calibrado conforme as faixas do quadro 3.2 para ensacamento de 50 kg,;

<u>faixa</u>	<u>ação</u>
< 49,2 kg	rejeição do saco
de 49,2 a 49,9 kg	aceitação do saco e comando para aumentar 0,1 kg no próximo saco
de 49,9 a 50,1 kg	aceitação do saco
de 50,1 a 52 kg	aceitação do saco e comando para diminuir 0,1 kg no próximo saco
> 52 kg	rejeição do saco

Quadro 3-2: Faixas de regulação do dispositivo *check-weigher*

- **rejeitador:** dispositivo mecânico que recebe os sacos rejeitados, rasga a embalagem, restitui o cimento ao processo e envia a embalagem à caçamba de rejeitos;
- **datagem:** dispositivo eletromecânico que imprime a data no saco, exigida pelo código de defesa do consumidor;
- **transporte de sacos:** após verificados, os sacos são transportados mecanicamente até a estação de carregamento de veículos de transporte externo;
- **carregamento de caminhões:** os sacos são colocados automaticamente em caminhões, por dispositivos *truck-loader*, conforme padrões de carga (pilhas e colunas) estabelecidos caso a caso pelo operador, em camadas padronizadas e invariáveis;
- **paletização:** os sacos são colocados automaticamente em *pallets* de madeira, conforme padrões de carga (pilhas e colunas) estabelecidos caso a caso pelo operador, em camadas padronizadas e invariáveis e com empilhadeira são colocados no veículo de transporte externo, normalmente um caminhão;
- **pesagem final:** a pesagem é feita em balança rodoviária automatizada e integrada ao sistema de informática da empresa, com controle da operação e emissão de nota fiscal;
- **transporte ferroviário:** um caso particular de ensacagem ocorre quando o veículo de transporte final é um vagão ferroviário, sendo escassas as oportunidades de automação.

### 3.3 NECESSIDADES LOGÍSTICAS

Dentro do contexto descrito, analisam-se os aspectos logísticos necessários para o caso em estudo. A análise considerará os tipos de produto e insumos e seus respectivos cenários estratégicos, de atendimento ao cliente e à fábrica.



### 3.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO E DOS INSUMOS

O bem produzido ou comercializado (cimentos e argamassas) é empregado de maneira direta e imediata pelo consumidor final. Este tipo de bem possui preço unitário baixo, é destinado em significativa parte ao consumidor “pessoa física”, possui como ponto de revenda agente comercial de baixa capacidade financeira e requer pouca ou nenhuma habilitação para seu emprego. O *marketing* é voltado ao consumo final, dispensando estratégias sofisticadas de comunicação. Com as políticas de direitos do consumidor, o controle dos prazos de validade são intensos, diminuindo ainda mais a atratividade de se investir em grandes estoques. O sucesso do produto depende de comercialização intensiva e capilarizada, sendo o ponto de entrega necessariamente próximo ao ponto de consumo.

Já as matérias-primas são extraídas da natureza, a partir de jazidas ou reservas naturais, ou da agricultura, sendo que, para serem rentáveis, a exploração e o transporte devem ser feitos em larga escala, extensivos e concentrados. É necessário processamento primário próximo à extração ou plantio, geralmente distante do ponto de consumo.

### 3.3.2 CENÁRIO ESTRATÉGICO DE ATENDIMENTO AO CLIENTE

No cenário atual, impuseram-se concessões por parte do fornecedor até pouco tempo atrás desnecessárias ou impensáveis. A falta de acesso ao crédito, ou inexistência de capital de giro por pequenos e médios comerciantes modificou a relação destes agentes econômicos com os grandes fornecedores dos bens de consumo imediato. Fornecedores diminuíram seu prazo de entrega, aproximando-se de, ou até atingindo, uma situação ideal na qual o ritmo de entrega na fábrica corresponda exatamente ao ritmo de compra do público. Na situação limite, o

revendedor recebe despachos diários no valor exato de sua capacidade de revenda, em múltiplo inteiro da unidade de transporte, autofinanciando sua compra.

Para formalizar esta relação entre fabricante e revendedor, considere-se:

$T1$  = tempo que o agente econômico precisa para vender todo o estoque

$T2$  = tempo a partir do momento do pedido de reposição, até a efetiva chegada do mesmo

Para atender ao cliente de forma a que o mesmo não invista capital de giro na formação de estoque, é necessário que  $T2 < T1$ . Portanto, para garantir que  $T2 < T1$ , e considerando que  $T1$  pode ser tão pequeno como 24 horas, são necessárias medidas como:

- dependência de frota rodoviária (carretas ou *trucks*);
- alta capilaridade nas rotas (acesso rápido a todos os destinos);
- alta rotatividade na frota rodoviária (mais de um motorista para o mesmo veículo);
- emprego de veículos rodoviários multicargas;
- alta velocidade no fechamento de negócios (fechamento eletrônico de negócios, via Internet ou central telefônica automática);
- fechamento programado de negócios;
- acesso imediato ao carregamento;
- alta disponibilidade dos equipamentos de carga;
- equipamento de carga automática de caminhões (*truck-loader* ou *palletizers*);
- emissão eletrônica de nota fiscal e demais rotinas de controle, via sistemas informatizados de rastreamento com código de barras;
- disponibilidade garantida de produto para entrega.

O produto chega ao consumidor através de ponto de venda, cujo estoque é coerente com o espaço disponível, normalmente pequeno. O consumidor compra de modo assíncrono (a qualquer momento) e aleatório (decide se vai ou não comprar). O consumo pode ainda ser afetado por fatores de curta intensidade, como incidência de chuvas ou eventos micro-

econômicos, ou ainda por fatores sazonais ou estruturais, como oscilações na atividade econômica. A técnica de reposição adotada pelo agente econômico é acionar a reposição no último momento possível, de forma a que a carga chegue no exato momento em que o estoque atinja zero, e autofinanciando-se com o prazo de sete dias concedido pela fábrica, pois faz a venda a vista. Portanto, o consumidor “puxa” a produção a partir do despacho da fábrica e o processo produtivo deve atender a este ritmo, sem gerar comprometimentos ou perdas, como a geração de estoques de segurança.

### 3.3.3 CENÁRIO ESTRATÉGICO PARA A MATÉRIA-PRIMA

A disponibilidade de matéria-prima é determinada pelas distribuições geológicas presentes na natureza. Estando estas jazidas em locais de difícil acesso, salvo raras exceções, os centros habitados se localizaram distantes delas. O mercado consumidor do tipo de produto em análise é constituído por comunidades de alguma renda e grau de organização social, que se situam normalmente em locais distantes das fontes de suprimento, inclusive agrícolas. Como alguns processos são de natureza térmica e envolvem perdas estequiométricas (a clinquerização tem uma perda de 1,6:1 em massa), torna-se proibitivo o transporte de matéria-prima *in natura*, sob pena de se transportar uma fração que será perdida no processo. Exige-se então processamento local, normalmente elevado. Como a agilidade necessária para o produto acabado impede que o processo seja todo executado junto à fonte de matéria-prima, haverá duas frentes de trabalho: uma junto à jazida e outra próximo ao consumo, unidas por uma infra-estrutura relevante de transporte intermediário. A linha divisória entre as duas estruturas produtivas pode passar entre a mineração e a moagem de cru, entre a clinquerização e a moagem de cimento ou entre a ensacagem de cimento e a entrega de produto acabado.



conforme cada planta produtiva. O transporte será extensivo, a partir de regiões distantes de grandes centros consumidores. Os modais são:

- frotas rodoviárias estaduais e interestaduais;
- transporte ferroviário estadual e interestadual;
- transporte hidroviário estadual, interestadual e internacional.

Cada modal requer uma operação particular de gerenciamento para aumentar sua eficácia.

Para frotas rodoviárias, deve-se gerenciar para obter:

- frete de retorno levando, por exemplo, combustível para a unidade processadora;
- aproveitamento de rotas passando perto de portos e compondo um *mix* de cargas;
- contratos de longo prazo a preço fixo;
- aproveitamento comum de oficinas, materiais e peças de manutenção, entre os veículos de transporte externo e interno, pertencentes ao fabricante;
- redução no custo do capital para financiamento de veículos, em troca de serviço.

Para transporte ferroviário, deve-se gerenciar para obter:

- agilidade de carregamento na origem, para reter o menos possível a composição;
- aproveitamento de oportunidades sazonais agrícolas oferecidas pela rota;
- contratos de longo prazo a preço fixo;
- enriquecimento do *mix* da carga, trazendo junto embalagens;
- financiamento da manutenção de composições, em troca de serviço.

Para transporte hidroviário, deve-se gerenciar para obter:

- agilidade de carregamento na origem;
- aproveitamento de oportunidades sazonais agrícolas oferecidas pela rota;
- contratos de longo prazo a preço fixo e com múltiplos pontos de descarga;
- enriquecimento do *mix* da carga, trazendo junto outros insumos fluviais, como areia;

- ancoradouros privados, não ligados a políticas oficiais;
- composição de rotas mistas ferrovia-rodovia-hidrovia;
- rede de silagem ao longo da rota porto-fábrica, racionalizando a parte terrestre.

### 3.4 ESTRUTURA PRODUTIVA E LOGÍSTICA DA ORGANIZAÇÃO

As entregas de cimentos e argamassas ocorrem em fábricas em Pinheiro Machado e Esteio, e em depósito em Passo Fundo. Considerando que uma planta industrial completa fabrica clínquer e cimento, e uma planta industrial incompleta recebe clínquer e fabrica cimento, é a seguinte a estrutura produtiva no RS e região sul do Brasil:

- planta completa, localizada em Pinheiro Machado, na região da Campanha do RS;
- planta incompleta, localizada em Esteio, na região da Grande Porto Alegre;
- duas plantas de mineração, localizadas em Candiota e São Gabriel, no RS;
- duas plantas completas e duas plantas de mineração, próximo a Curitiba, no Paraná;
- uma planta incompleta em Itajai, Santa Catarina.

A organização oferece cimento nas seguintes modalidades:

- cimento CP-I-S a granel, em caminhões do tipo *cebolões*<sup>1</sup>;
- cimento CP-IV a granel, em caminhões do tipo *cebolões*;
- cimento CP-IV ensacado em sacos de 25 quilos, em caminhões *trucks*;
- cimento CP-IV ensacado em sacos de 50 quilos, em caminhões *trucks* ou carretas;
- cimento CP-IV ensacado em sacos de 25 quilos, em vagões ferroviários;
- cimento CP-IV ensacado em sacos de 50 quilos, em vagões ferroviários.

---

<sup>1</sup> Caminhões herméticos em formato de tanque, empregados para transporte de líquidos e grânéis sólidos.

Também distribui para o RS argamassas colantes, fabricadas fora do estado. Necessita fornecimentos de matérias-primas e combustíveis, dependentes de cadeias logísticas, que incluem as jazidas e as plantas industriais e dois tipos de fornecimentos:

- **concentrados:** originam-se em um único ponto, como uma jazida ou geradora de resíduo, de oferta limitada e localizada, como cinza de carvão mineral, e cujo custo da logística determina a viabilidade ou não do suprimento. São cabíveis contratos de parceria de longo prazo, com responsabilidades mútuas e reduções de custo permanentes;
- **distribuídos:** originam-se em diversos pontos de suprimento, de oferta não-limitada e sujeita a alternativas, como casca de arroz e explosivos. Funcionam conforme o mercado, sendo as negociações caso a caso que viabilizam o emprego do insumo.

A unidade industrial de Esteio têm importância no sistema produtivo da região sul do Brasil, localizando-se no eixo Grande Porto Alegre-Região da Serra Gaúcha. Os suprimentos de Esteio são recebidos através das seguintes cadeias logísticas:

- **clínquer:** recebido de duas fontes próprias:
  - de Pinheiro Machado, por via rodoviária (ativa), ferroviária (eventual) e fluvial (atualmente desativada);
  - de Curitiba, por via ferroviária.
- **gesso:** recebido de duas fontes externas, por via rodoviária;
- **calcário aditivo:** recebido de Pinheiro Machado, por via rodoviária;
- **cinza seca:** recebida de fontes externas locais e duas fontes distantes por via rodoviária;
- **carvão:** recebido de várias fontes externas locais por via rodoviária;
- **casca de arroz:** recebida de várias fontes distantes por via rodoviária;
- **embalagens:** recebidas de várias fontes distantes por via rodoviária;
- **argamassas:** recebidas de Curitiba, por via ferroviária e rodoviária.

As cadeias logísticas gerais da organização estão representadas na Figura 3.4.



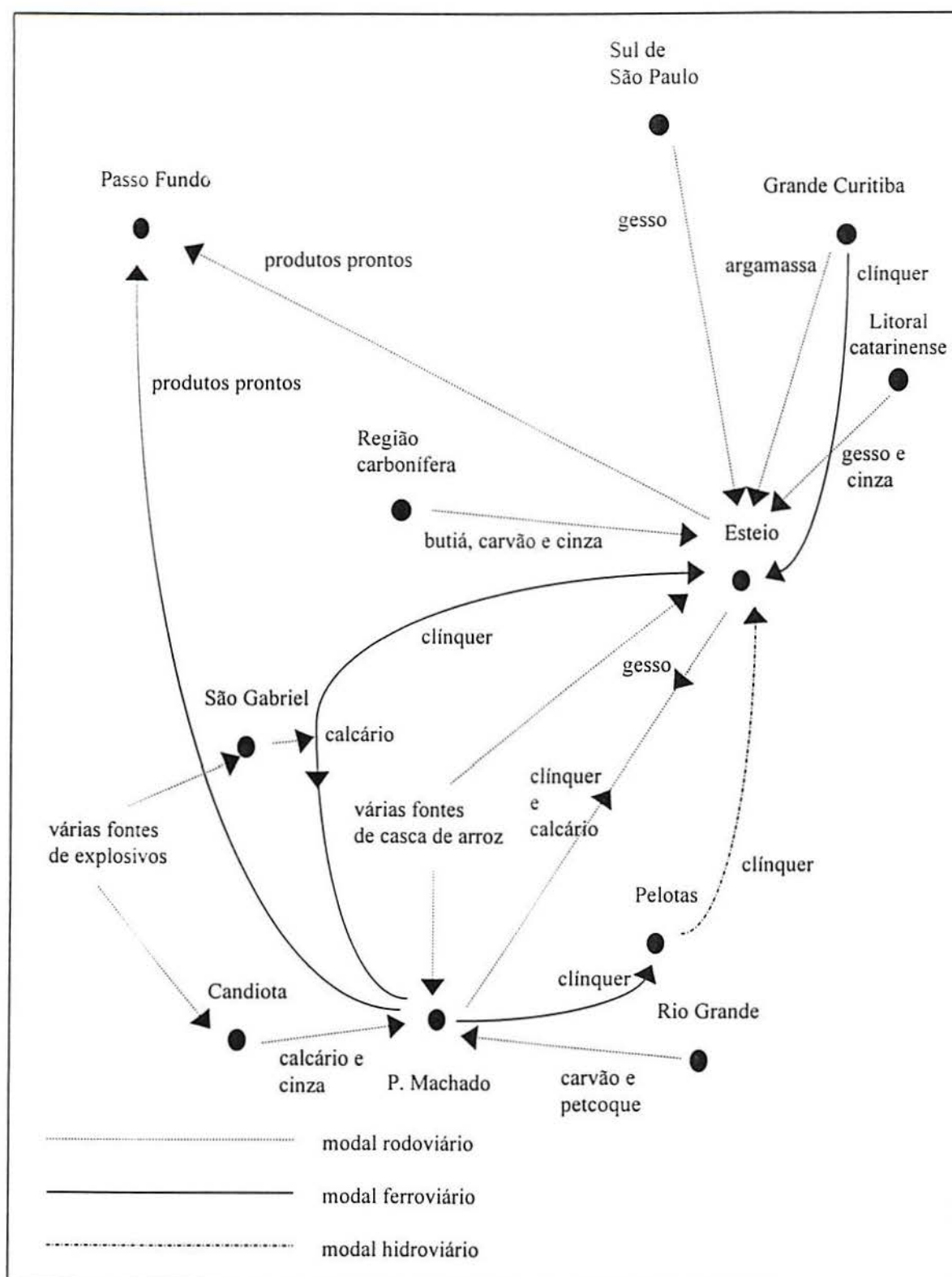








Figura 3-4: Cadeias logísticas da Votorantim no RS

### 3.4.1 A CADEIA PRODUTIVA

A cadeia produtiva é representada nas Figuras 3.5, 3.6 e 3.7 empregando-se a simbologia adotada por SHINGO (1996B)<sup>1</sup>, e constante no Quadro 3.3. A Figura 3.5 representa as plantas de mineração e de Pinheiro Machado, até a alimentação do forno de clinquerização e a ensacagem, e continua na Figura 3.6, com o forno, o despacho de clínquer para Esteio, a ensacagem e a entrega. A Figura 3.7 completa o sistema, incluindo a operação de Esteio, composta da descarga de matéria-prima, moagem e entrega a granel e ensacado.

Atividade	Descrição	Símbolo
Processamento	Alteração na forma ou propriedade; Montagem de partes	
Inspeção	Comparação com padrão e julgamento	
Transporte	Mudança de localização	
Espera de lote	Partes do lote esperam durante o processamento do lote	
Espera de processo	Um lote inteiro espera pelo início de processamento	
Estoque acabado	Produto pronto aguarda despacho	

Quadro 3-3: Atividades de produção

<sup>1</sup> SHINGO (1996B) descreve os processos industriais, classificando as atividades em:

- Processamento: é a única atividade que, além do custo, agrega valor ao produto;
- Transporte: aumenta o custo do produto e pode ser minimizado ou eliminado por estudos de *lay-out*;
- Inspeção: assegura a qualidade do produto, mas aumenta o custo. A inspeção deve servir de base para prevenir defeitos e não apenas descobri-los;
- Esperas: fazem papel de amortecedores, prevenindo contra incertezas e variabilidades na produção, porém, aumentam *lead-time* e geram superprodução, devendo ser evitadas.

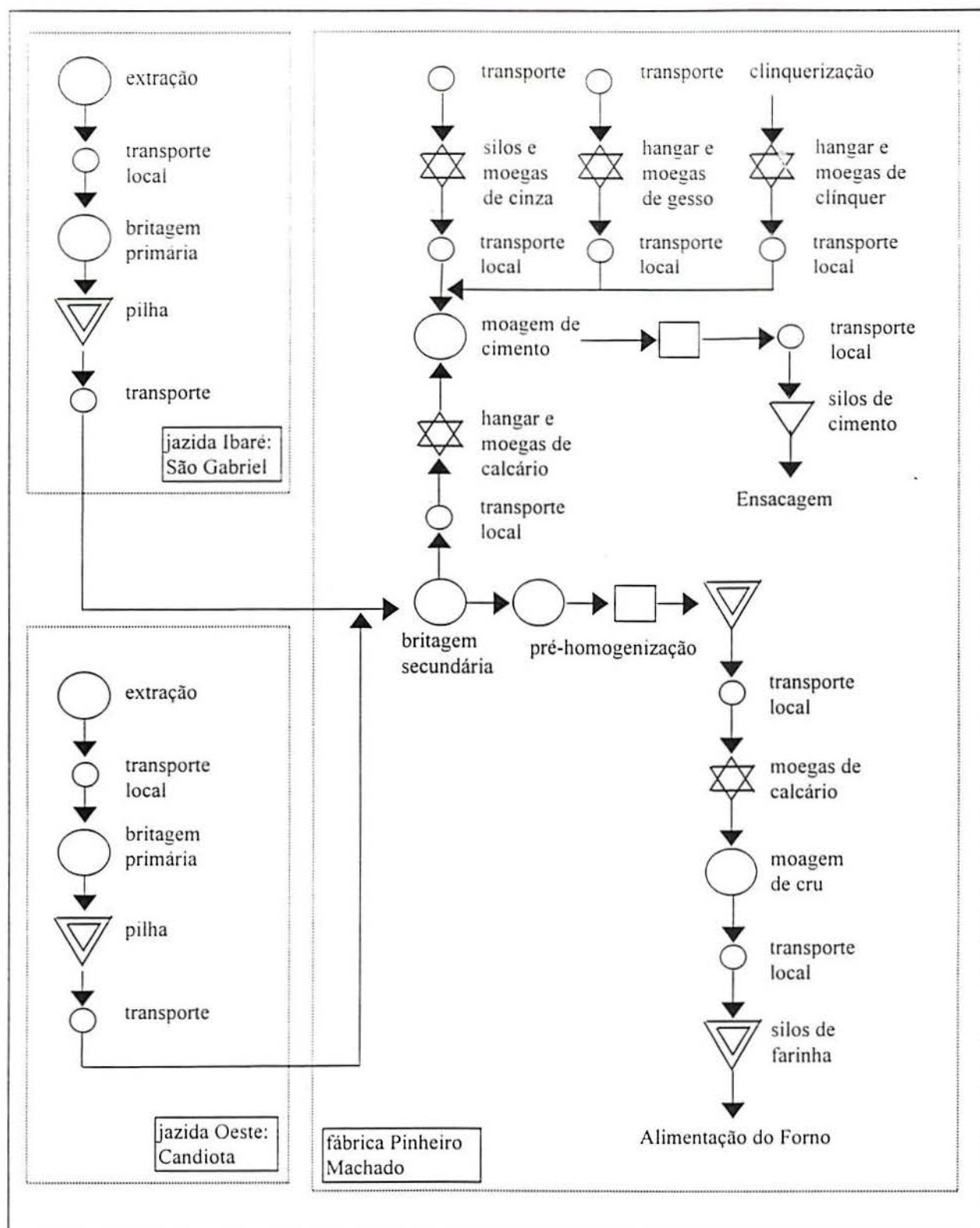


Figura 3-5: Fluxograma parcial do sistema produtivo Votorantim no RS





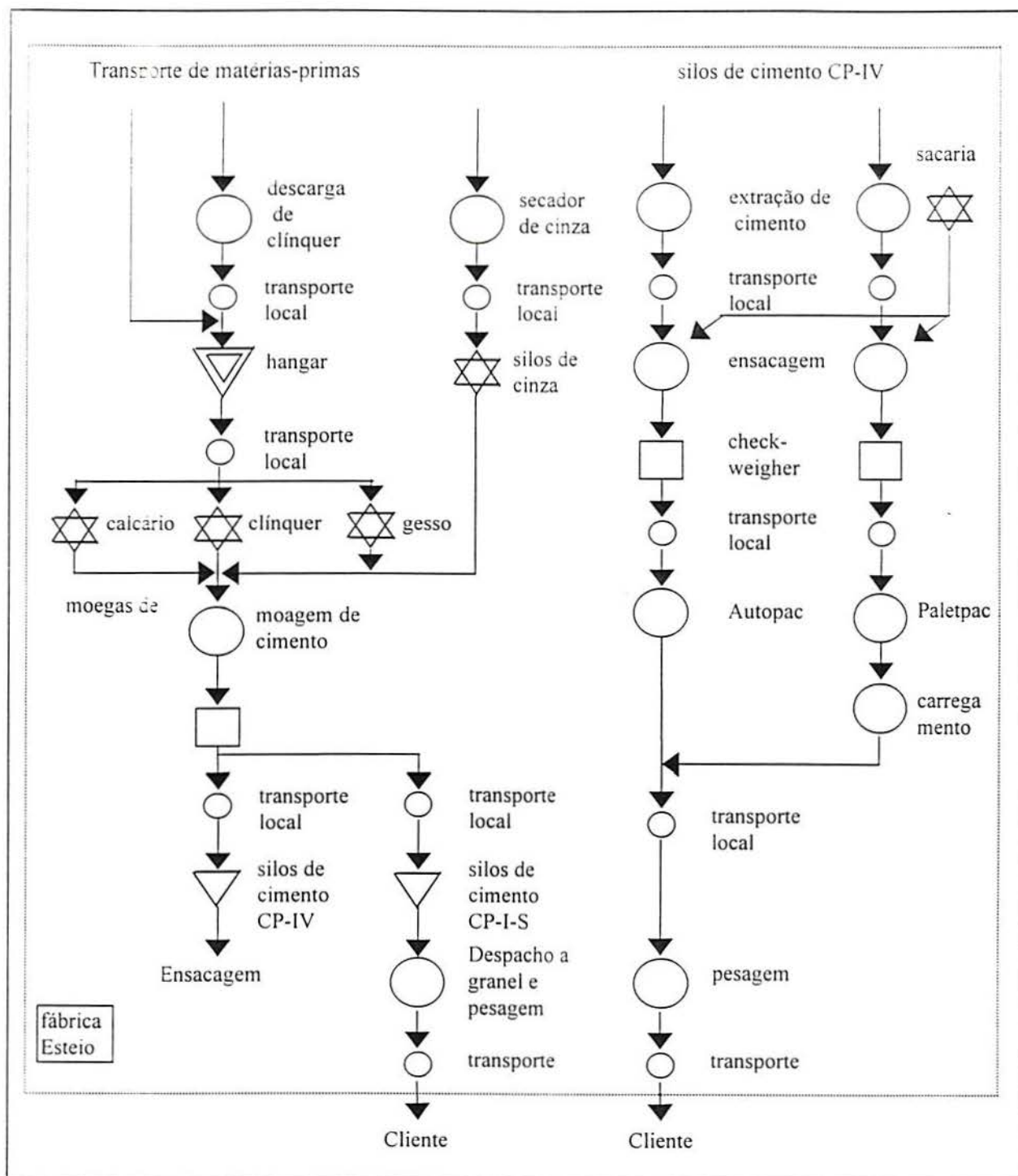


Figura 3-7: Fluxograma parcial do sistema produtivo Votorantim no RS

### 3.5 GERENCIAMENTO INTEGRADO DAS CADEIAS LOGÍSTICA E PRODUTIVA

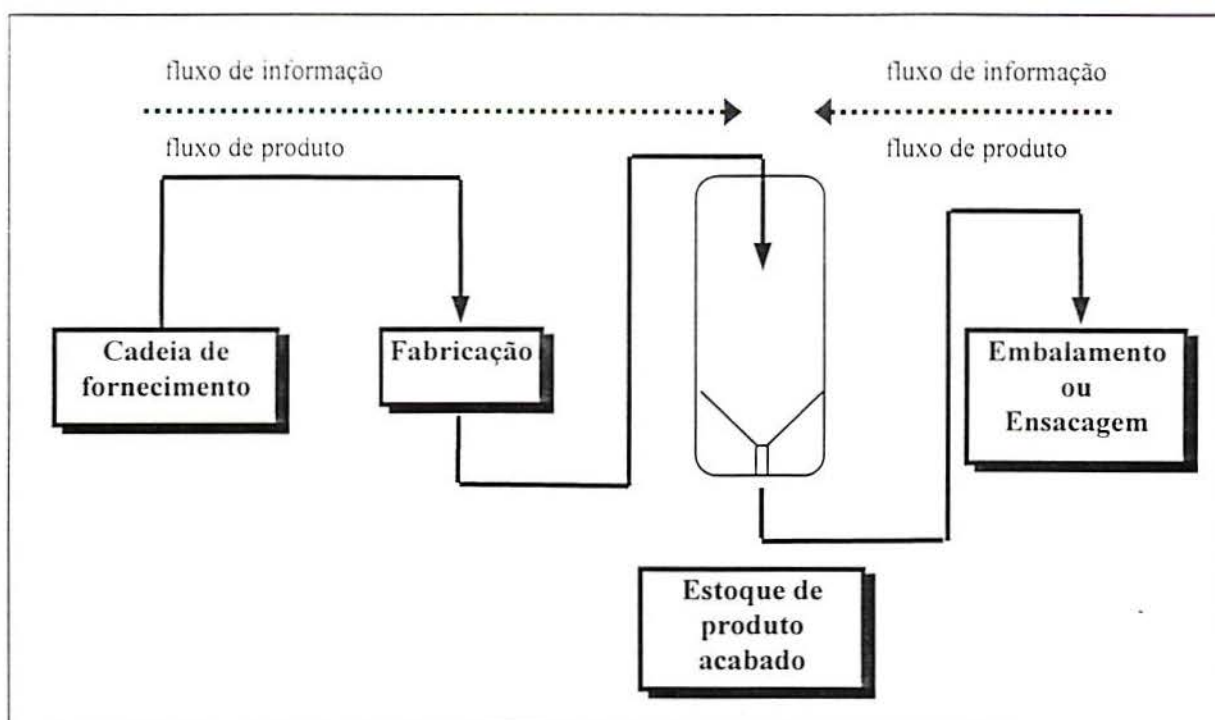
Para PLOSSL (*apud* HANSEN, 1996), a produção deve ser encarada como um processo único que inclui o fluxo de materiais, desde os fornecedores, passando pela manufatura, até chegar aos clientes, envolvendo ainda o fluxo de informações. Portanto, o gerenciamento dos meios produtivos inclui o gerenciamento dos meios logísticos em um processo integrado.

Analisa-se o modelo gerencial encontrado no caso em estudo, e em outros casos examinados na indústria de Propriedade, definindo-se um “divisor de águas” para o sistema. É o estoque de produtos acabados, antes do embalagem ou processamento final. Este estoque pode estar contido em silos de concreto ou metálicos, para pós ou grãos, em tanques para produtos líquidos, pavilhões industriais para produtos ou artefatos discretos, depósitos a céu aberto para materiais intermediários na cadeia produtiva ou estoques dinâmicos para *pallets* ou fardos. Tudo se passa como se o setor de fabricação tentasse encher o reservatório destinado ao estoque e o setor de embalagem tentasse esvaziá-lo, conforme representado na Figura 3.8.

#### 3.5.1 LÓGICA DO EMBALAMENTO

Observe-se que, do “divisor de águas”, em direção ao embalagem, a lógica prevalente é a lógica da produção “puxada”. As *commodities* produzidas serão entregues contra pedidos, dependentes de transporte, e a retirada de produto do estoque para embalagem e o conseqüente carregamento de produto embalado só ocorrem a partir da chegada do veículo. Dependendo do tamanho da área de estocagem, previne-se a superprodução, citada por SHINGO (1996) como a mais grave das perdas enunciadas no Sistema Toyota de Produção.





**Figura 3-8: Modelo de gerenciamento da cadeia produtiva de Propriedade**

O efeito do processo de embalagem é percebido no nível de estoque de produto acabado, que varia conforme a intensidade do carregamento e da produção das *commodities*. Um caso particular relevante ocorre quando o despacho se dá sob a forma de remessas. Uma remessa se caracteriza quando o mesmo veículo é aproveitado para o transporte de mais de um pedido ou tipo de produto, formando uma carga mista, que exige sincronismo múltiplo.

Pode-se obter a produção contrapedido no estágio final, gerenciando-se adequadamente o emprego dos seguintes equipamentos:

- **Truck-loader:** dispositivo eletromecânico que forma a carga dentro de caminhão, sem intervenção de mão-de-obra. Só libera a retirada de produto do estoque para o embalagem ou ensaque com o caminhão na posição e demais condições necessárias para o embarque atendidas, como especificação de volume, quantidade e *mix* da carga.

- **Paletizador:** dispositivo eletromecânico que forma a carga fora do veículo, sobre *pallets*. O *pallet* vai se formando enquanto o veículo se aproxima, sendo embarcado por empilhadeira, ponte rolante ou qualquer outro dispositivo movimentador de carga ou, ainda, por carrinho elétrico, no caso de vagões ferroviários.
- **Estoque dinâmico:** armazém composto de baias em disposição espacial cartesiana (altura e distância), que recebe fardos ou *pallets* por dispositivo posicionador bidimensional. A extração é feita através de lógica *FIFO*<sup>1</sup>, do outro lado do armazém, por dispositivo trans-elevador. Através de rastreamento por código de barras, pode-se automatizar a carga de veículos com lote de produção unitário, a nível de *pallet*, prevenindo a superprodução de produto embalado.
- **Tromba e sistema de carregamento a granel:** dispositivos eletromecânicos que permitem carregar de forma controlada (peso ou volume) um produto de Propriedade contínuo (pó, líquido ou gasoso). O sistema de transporte pode ser pneumático ou mecânico (transporte físico mais gravidade). Exige intertravamento por sensor de nível para evitar derramamento e medição do volume ou peso, para faturamento. É necessária frota de veículos equipados com tanques e demais componentes auxiliares como aeração, refrigeração e tomada para inserção do ar comprimido de transporte. Transforma o veículo de transporte externo em embalagem.
- **Aplicador automático de embalagem:** dispositivos robotizados que separam, preparam e aplicam a embalagem (no caso de sacos ou *shrinks*), sincronizando sua chegada e movimentação com a presença do veículo de transporte e com a extração do produto acabado do estoque.

---

<sup>1</sup> *First In First Out*, primeiro que entra é o primeiro que sai

- **Manipuladores de fardos:** movimentam, empilham e dispõem as embalagens em estado inicial, sincronizando seu emprego com a presença do veículo de transporte e com a extração do produto acabado do estoque.
- **Baia de recepção de embalagens:** locais com capacidade de estocagem, que recebem as embalagens. Pode-se gerenciar com foco na redução da capacidade de estocagem de embalagens, reduzindo-se o espaço físico disponível e padronizando-se os tipos de embalagens. Os embarques são “puxados” de acordo com o ritmo de ensacamentos, prevenindo a superprodução de embalagens.

### 3.5.2 LÓGICA DA FABRICAÇÃO

A montante do “divisor de águas” percebe-se uma tendência a “empurrar” a produção. A cadeia de fornecimento, representada na Figura 3.8, é significativa nesta tendência, explicada pelo emprego do indicador gerencial do ‘mínimo custo unitário’, que leva a organização ao que GOLDRATT (1999) caracteriza por ‘Mundo do Custo’<sup>1</sup>. Produz-se ao máximo, ocupando plenamente os recursos, estocando onde for possível, baixando o custo unitário fixo da operação e o custo unitário total. Não havendo consumo imediato para toda a produção, elevam-se o inventário e as despesas operacionais.

Os processos de produção de produtos de Propriedade contínuos exigem uso intensivo de energia mecânica ou térmica, equipamentos de peso próprio elevado e de ponto de ajuste ótimo único. O indicador de consumo específico de energia (Kwh/t ou Kcal/kg) define o custo

---

<sup>1</sup> Ambiente gerencial onde a otimização dos indicadores de custos unitários conduz a inventário excessivo.



do processo, raramente se conseguindo produzir otimamente em mais de uma velocidade<sup>1</sup>. Como os produtos de Propriedade contínuos, ao contrário dos de Forma, não permitem diferenciar o lote do recipiente que o contém (silo, hangar ou pavilhão), não existe o fluxo de produção unitário, e sim fluxo contínuo, de escassa atribuição a pedidos específicos. Esta característica também pode induzir à superprodução.

Colocado isto, destaque-se que a lógica de fabricação ‘empurrada’ prevalece na organização, não existindo nenhum esquema de sincronização. A prática da produção intensiva leva ao acúmulo de inventário e geração de despesas operacionais, e aos efeitos indesejáveis descritos na ARA do capítulo I. No próximo capítulo, investigam-se esquemas de sincronismo que eliminem estes efeitos indesejáveis, usando-se o processo de mudança baseado nas ferramentas da *TOC*.

### 3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo descreveu-se o sistema produtivo de cimento do grupo Votorantim no RS. Introduziu-se o conceito de cimento, suas origens e aplicações, seu processo de fabricação e as cadeias logísticas para as matérias-primas e produto final. Representou-se o sistema produtivo e cadeias de suprimentos pela notação característica da engenharia industrial. Descreveu-se um modelo de gerenciamento integrado da cadeia de produção, extensível para outros tipos de indústria de Propriedade, onde se distinguem modelos de gestão para os setores de fabricação e embalagem. Finalizou-se caracterizando o processo de geração de inventário e despesas operacionais dele decorrentes.

---

<sup>1</sup> Atente-se a operações unitárias térmicas ou termoquímicas, pois entradas e saídas deste tipo de processo não podem ser freqüentes, sob pena de se incorrer em outros dois tipos de perda: desperdício de energia e ataque ambiental (o circuito de gases tende a sair de controle nas partidas e paradas).

O referencial teórico construído, mais o estudo de uma proposta de mudança, ora iniciada, remetem ao objetivo deste trabalho de conclusão: a introdução da produção sincronizada na indústria de Propriedade. Será empregado o processo de gerenciamento da mudança baseado nas ferramentas da *TOC*, sendo que os dois primeiros passos já foram dados, ao se explicitar o problema na ARA do capítulo I e o direcionamento da solução no DDN do capítulo II. No próximo capítulo conclui-se o processo identificando-se a solução pelos cinco passos de focalização, testando-se a mesma pela modelagem, simulação computacional e verificação estatística, analisando-se os benefícios esperados com a mudança, projetando-se o futuro pela ARF, prevenindo-se problemas potenciais pela APR e propondo-se um plano de ação pela AT.

Ao final do capítulo ter-se-á uma proposta para a introdução da produção sincronizada na organização em análise, com as decorrências desta introdução devidamente analisadas.

## CAPÍTULO IV

### 4. INTRODUÇÃO DA PRODUÇÃO SINCRONIZADA NO CASO EM ESTUDO

Descrito o cenário atual, introduz-se a produção sincronizada. A seguir, pelos cinco passos de focalização da *TOC*, estabelece-se a solução e testa-se por simulação, *anova* e comparação múltipla de médias. Ao fim, avaliam-se os benefícios esperados e as implicações da mudança pela ARF e propõe-se um plano de ação, baseado nas APR e AT.

#### 4.1 APLICAÇÃO DO ALGORITMO TAMBOR-PULMÃO-CORDA NO CASO EM ESTUDO: TRÊS POSSÍVEIS ESTRATÉGIAS

Descreve-se a seguir a abordagem para introdução da produção sincronizada no sistema produtivo de cimento do grupo Votorantim no RS. Descrevem-se as cordas sugeridas e três estratégias para cálculo e controle do inventário máximo admissível. O modelo de simulação considerará a primeira delas, por ser eficaz e adequada ao caso: a limitação linear de inventário. As demais são apontadas como sugestões para trabalhos futuros.

GOLDRATT (1999) não indica regras firmes para o cálculo de pulmões, estabelecendo um valor inicial, ajustável sob uma ótica de melhoria contínua, a medida que o processo de sincronização da produção se desenvolve<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Para o cálculo de níveis de estoques, BROWN (1959) apresenta métodos estatísticos como médias móveis, tendências e autocorrelações, com suavizações exponenciais, baseados em modelos de demandas e previsões. Prefere-se investigar o nível de inventário ótimo para a produção sincronizada através de cenários alternativos e simulação computacional das entregas de produtos acabados.



#### 4.1.1 A BUSCA DA SOLUÇÃO

Busca-se a solução ótima para o gerenciamento da produção através dos cinco passos de focalização da *TOC* (GOLDRATT, 1990):

1. **Identificar** a restrição do sistema: em um processo produtivo, sempre haverá uma restrição ao aumento de ganho. No caso em análise, a restrição é a capacidade de moagem da planta Esteio. Identificando-se a restrição, resulta evidente o próximo passo.
2. Decidir como **explorar** a restrição do sistema: identificado o recurso restritivo, tira-se o máximo dele, pois cada minuto de parada é um minuto a menos de ganho. Previnem-se as interrupções através de turnos de revezamento de operadores, e concentrando os trabalhos programados, necessários à manutenção dos níveis de qualidade e produtividade requeridos, no “horário de ponta”. Previnem-se paradas através do hangar de matérias-primas antes da moagem, que garante fluxo de entrada, e silos de cimento, que garantem a destinação de produto acabado. Como a restrição produz produtos com ganhos por unidade de restrição diferentes, programa-se a mesma otimizando o ganho por unidade restritiva (1ª injeção). Determinando-se o resultado global do sistema pelo resultado da restrição, o próximo passo é gerenciar as não-restrições de modo a não interferirem neste resultado.
3. **Subordinar** tudo o mais à decisão acima: programam-se os recursos não-restritivos para trabalhar no mesmo ritmo da restrição, pois, se trabalharem em ritmo superior, aumentarão o inventário e as despesas operacionais, sem aumentar o ganho. Haveria inclusive uma perda no ganho, pois recursos produtivos como a ponte rolante estarão servindo ao inventário, e não à moagem, reduzindo o desempenho da restrição e o ganho do sistema. Garante-se o sincronismo bloqueando o primeiro processo quando o inventário na frente da restrição atingir um certo valor. Este valor deve ser o menor possível, sem perda de ganho.

Esta ação se materializa na adoção do algoritmo TPC e da “regra do papa-léguas” (2ª injeção). Avança-se então para o quarto passo.

4. **Elevar** a restrição do sistema: não se podendo elevar mais o ganho do sistema, a capacidade da restrição deve ser elevada. Como esta elevação exige investimento em bens de capital de custo elevado e maturação demorada, ficará fora do escopo deste trabalho, sendo de competência da administração da empresa sua determinação.
5. Se em um dos passos anteriores a restrição foi rompida, volte-se para o primeiro passo, mas **não se deixe que a inércia seja a restrição do sistema**: quando se quebra uma restrição, muda-se a fábrica, porém as regras, formais ou intuitivas, que vigoravam na antiga fábrica, tornam-se, sem que se perceba, as novas restrições. O sistema produtivo resulta limitado por restrições políticas (GOLDRATT, 1990).

#### 4.1.2 IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO ENCONTRADA

Para implementar a solução encontrada deve-se obter o menor valor de inventário sem que haja redução de ganho. Emprega-se a simulação computacional na restrição geral do sistema, a planta Esteio, e determinação empírica para Pinheiro Machado. Considera-se importante implantar sincronismos internos também nesta planta, devido às repercussões na cadeia produtiva. Sugerem-se então duas cordas, cujo funcionamento é descrito a seguir:

- tipificam-se os *lead-times* entre as cargas intertraváveis e os pulmões, levando-se em conta no cálculo dos disparos os teores das matérias-primas que compõem o *blending*;
- define-se como diária a periodicidade das ações de intertravamento da corda;
- define-se um nível de disparo de estoque, por simulação computacional para Esteio empiricamente para Pinheiro Machado.

Na unidade Pinheiro Machado, os silos de cimento são um pulmão que protege as vendas, por três a quatro dias, já configurando uma corda. Basta estabelecer uma política que, interrompida a moagem de cimento por silos cheios, só haverá retomada quando o nível cair abaixo de, por exemplo, 50%<sup>1</sup>. Os outros pulmões são o hangar de matérias-primas e a pilha de pré-homogeneização e o processo inicial é a extração. Como a maior parte dos custos e da criticidade incide nas fases anteriores à moagem de cimento, principalmente na clínquerização, define-se o hangar de matérias-primas como o pulmão. Sugere-se na Figura 4.1, para o clínquer, o cálculo de dois níveis de disparo: superior, para bloqueio, e inferior, para retomada da extração, evitando-se incorrer em perdas por desperdício energético e ataques ambientais por interromper com frequência o processo térmico da clínquerização. Devido aos tempos de resposta das cadeias produtivas, haverá histereses.

A extração produz calcário aditivo e principal, com interferência mútua na produção. A corda será operada pelo nível de clínquer e não pelo de calcário aditivo, interrompendo-se a produção, mesmo que eventualmente este último seja “empurrado”.

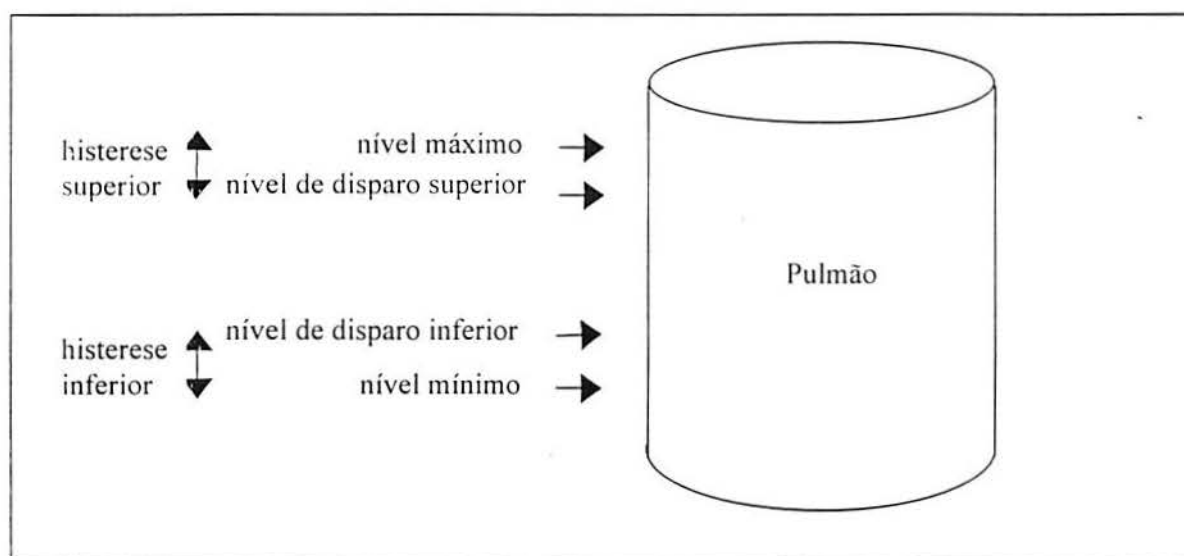
Mede-se o estoque de cada parte no hangar todo dia, as seis horas da manhã, comparando-se com seu nível de disparo. Havendo o disparo para gesso, os caminhões que se encontrem carregados serão recebidos e descarregados, não sendo mais permitidas cargas até que se retorne abaixo do nível de disparo. Para clínquer, bloqueiam-se as etapas de extração das unidades de mineração. Existe uma diferença de *lead-time* entre o material extraído na jazida Ibaré e na jazida Candiota, sendo o *mix* de *blending* entre jazidas 25% de Ibaré e 75% de Candiota. A interrupção de extração em Ibaré ocorre imediatamente e em Candiota num tempo tal que, considerado o material em trânsito de Ibaré para a fábrica, mantenha o *blending* de entrada. Informa-se a tonelagem já embarcada em ambas as jazidas e ainda não recebida na fábrica e extrai-se a quantidade necessária de Candiota para, misturada com o material em

---

<sup>1</sup> Favorece-se a implantação de manutenção preventiva, pois oficializam-se paradas de máquinas



trânsito de Ibaré, manter o *mix* adequado. No momento em que o clínquer atingir um nível abaixo do nível inferior de disparo, retomam-se as extrações. Mais uma vez, é necessário sincronizar a produção das duas plantas de mineração. A retomada em Ibaré será imediata e a retomada em Candiota será postergada por um intervalo de tempo tal que mantenha o *blending* na entrada da fábrica em Pinheiro Machado.



**Figura 4-1: Níveis de sincronização de pulmões para processos térmicos**

Para a unidade Esteio, define-se como pulmão o hangar de matérias-primas. Como não há processo térmico, define-se um único nível de disparo, com recorrências diárias. Uma vez atingidos os níveis de disparo de clínquer, gesso e calcário<sup>1</sup>, a respectiva cadeia logística de abastecimento é interrompida, só sendo retomada após retornar-se ao nível de disparo. O cálculo destes valores pode ser empírico ou obtido por simulação computacional. Mede-se o inventário de cada parte no hangar todo dia, as seis horas da manhã, bloqueando-se o

<sup>1</sup> A cinza fica fora do TPC para ambas as plantas pelos pequenos volumes de silagem disponíveis e pela escassez estrutural deste insumo.

embarque para as matérias-primas que estiverem acima do seu nível de disparo, e recebendo-se e descarregando-se apenas os caminhões e vagões que já se encontrem carregados. As cargas só serão retomadas quando se retornar ao nível de disparo, considerados os diferentes *lead-times* entre o transporte rodoviário e ferroviário.

Em ambas as plantas, necessita-se comunicação *on-line* entre as rotas logísticas e integração ao sistema gerenciador do TPC. Esta integração é possível, pois todas as unidades produtivas já estão automatizadas, informatizadas e interligadas através de sistemas de informação. Quanto aos fornecedores, possuem informatização própria, interligável aos sistemas internos. Para ambas as plantas, o depósito de sacaria pode ser considerado um pulmão de montagem, cujo gerenciamento pode ser feito através de um sistema *kanban* convencional, sem recursos computacionais. Segundo o conceito do *kanban* amplo (ANTUNES JR., 1998), existe no gerenciamento do pulmão de montagem uma oportunidade de melhoria contínua da cadeia de suprimento de sacaria, que poderia agregar:

- novos modais de transporte (ferroviário);
- novas embalagens (plástica);
- novos volumes (10 ou 15 kg, sendo os atuais 25 e 50 kg.);
- *big-bags* retornáveis de 500 kg ou mais.

#### 4.1.3 LIMITAÇÃO LINEAR DO INVENTÁRIO

Para o cálculo dos níveis de disparo, a estratégia de controle que será simulada para a planta de Esteio é a lógica de limitação linear. Para uma dada matéria-prima, o nível de inventário, com e sem o algoritmo TPC, é representado na Figura 4.2.

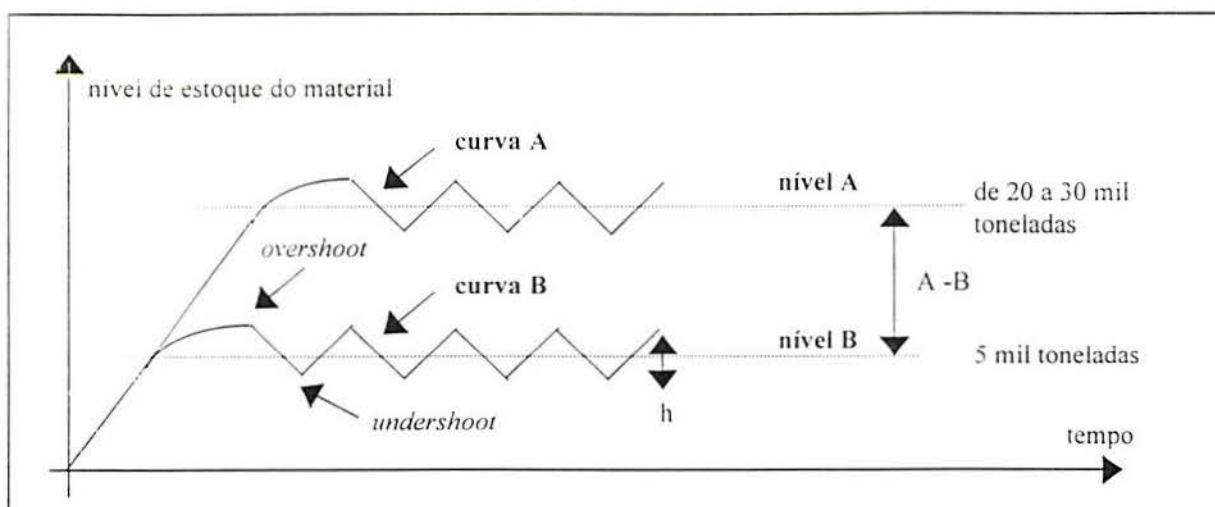


Figura 4-2: Nível de matéria-prima com e sem o TPC

O funcionamento da regulação do nível de estoque é como segue:

- **curva A:** representa a situação atual sem intertravamento do nível de inventário;
- **curva B:** representa a situação proposta, com intertravamento do nível de inventário.

O nível A é o nível máximo que o sistema de transporte consegue inserir no sistema, limitado pela capacidade de contenção do hangar de matérias-primas. O nível B é o nível calculado de inventário desejado. Quando o nível de estoque de uma matéria-prima atinge o nível de disparo, os embarques são interrompidos. Como alguns caminhões e/ou vagões ferroviários já estão carregados, serão recebidos e descarregados. Estes veículos já carregados causam a ultrapassagem da curva real em relação à desejada. Esta ultrapassagem é o *overshoot*. Reciprocamente, quando a matéria-prima em questão cai abaixo do valor de *pre-set*, retomam-se os embarques. Como há um tempo até que o novo embarque retomado chegue ao hangar de matérias-primas, ocorre uma ultrapassagem negativa, o *undershoot*, causada pelo consumo em andamento. A diferença (A-B), integrada no tempo, é a redução obtida de inventário em



(toneladasXdias) para cada matéria-prima, devida à introdução do algoritmo TPC. A diferença entre o valor máximo e mínimo do nível real de estoque  $\bar{h}$  é a histerese, assinalada na Figura 4.2. Esta estratégia será adotada na simulação computacional.

#### 4.1.4 LIMITAÇÃO DINÂMICA DO NÍVEL DE INVENTÁRIO

O nível de estoque proposto anteriormente considera apenas um valor fixo como *pre-set* para o nível de estoque de cada matéria-prima. Este valor fixo não considera variações na carga da fábrica. Como alternativa para a estratégia de limitação linear, toma-se dia a dia o consumo de cada matéria-prima nas unidades de moagem de cimento e recalcula-se o *pre-set* diariamente. Deste modo, as variações na produção de cimento serão antecipadamente consideradas na admissão de matéria-prima. Havendo problemas de manutenção, parada programada ou desempenho anormal nos moinhos, reduzindo-se o consumo de matérias-primas, o sistema não espera que o estoque suba e atinja o nível de disparo para interromper os embarques. Reciprocamente, havendo desempenho excepcionalmente positivo, cresce o consumo nos moinhos e antecipam-se os embarques. Nesta estratégia ilustrada na Figura 4.3, antecipa-se a reação da cadeia de suprimentos e aproxima-se a resposta real da resposta ideal, evitando-se excessivos *overshoot*, *undershoot* e histerese.

Sugere-se a simulação desta estratégia para trabalhos futuros.

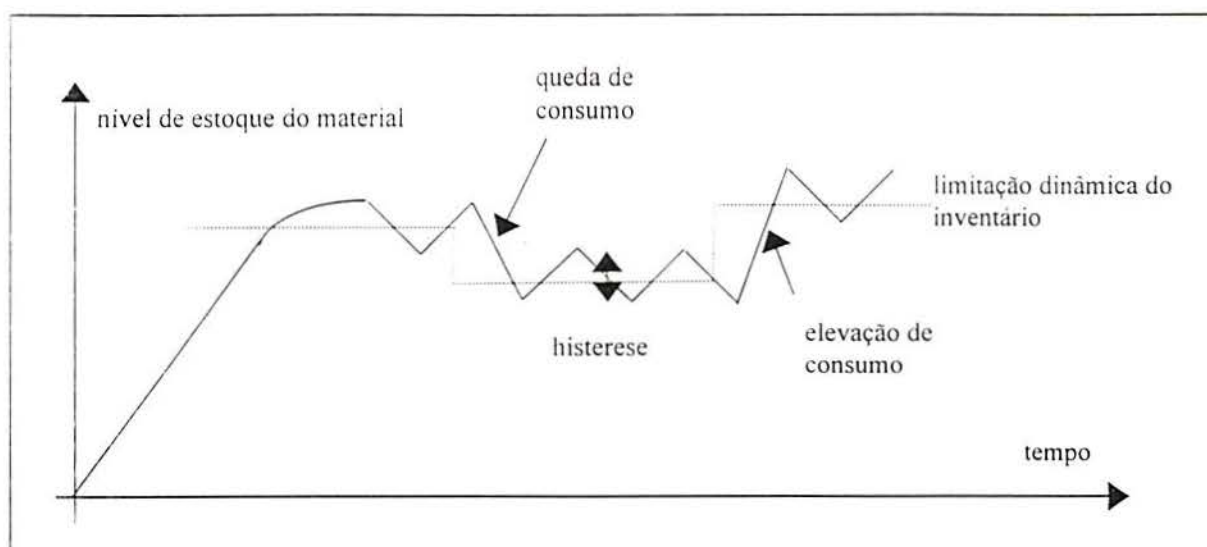


Figura 4-3: Limitação dinâmica do inventário

#### 4.1.5 SINCRONIZAÇÃO TOTAL DA PRODUÇÃO

A sincronização total da produção é similar à limitação dinâmica de inventário, sendo o cálculo diário do *pre-set* de inventário baseado no consumo de produto acabado, e não mais no consumo da moagem de cimento. Esta estratégia sincroniza totalmente a produção, pois interliga o produto que realmente é expedido com a matéria-prima que realmente é admitida na planta. Eventuais variações no estoque de produto acabado não compensam diferenças entre a produção e a expedição, conforme ocorria na estratégia anterior. As relações estática e dinâmicas nos *pre-sets* de níveis de inventário são representadas na Figura 4.4.

Sugere-se a simulação desta estratégia para trabalhos futuros.

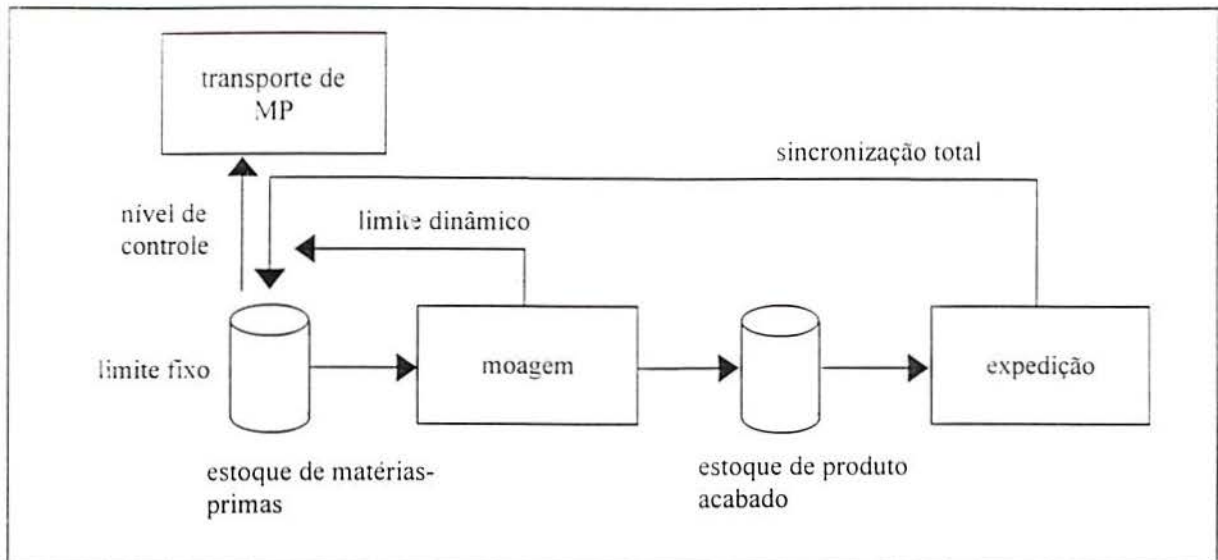


Figura 4-4: Oscilações dinâmicas de inventário

#### 4.1.6 O ALGORITMO SHINGO PARA CÁLCULO DO NÍVEL DOS PULMÕES

GOLDRATT (1999) sustenta que não é necessário um procedimento formal de cálculo para estabelecer o nível do pulmão. Sugere que se arbitre um valor razoável, baseado em observações práticas e que se acompanhe o desempenho do pulmão. Caso o mesmo não apresente faltas, reduz-se o nível máximo até que se atinja a condição de pulmão real aproximadamente igual a 70% do pulmão planejado. Se o pulmão descer a níveis abaixo deste valor, com ameaça clara à consistência da operação, aumenta-se o limite de inventário. GOLDRATT (1999) sugere iniciar com um valor de pulmão igual a 50% do *lead-time* verificado. Para a indústria de Propriedade, é difícil identificar este valor e pode-se errar na determinação inicial do nível desejado de inventário.

SHINGO (1996B) apresenta um algoritmo interessante, que pode ser usado para o estabelecimento do *pre-set* de inventário. Para um fluxo balanceado que alimenta uma



restrição, mede-se um valor de estoque por um certo tempo e determina-se sua distribuição de frequências. Através de técnicas estatísticas, verifica-se se o consumo segue uma distribuição de frequências do tipo normal. Se positivo, calcula-se o desvio-padrão  $\sigma$ . As variações deste estoque são devidas à demanda, já que a oferta é balanceada. Estatisticamente,  $3\sigma$  atendem 99,73% das variações de processo e demanda. Portanto,  $3\sigma$  é um bom valor inicial para o *pre-set*. Modificando-se o algoritmo para um fluxo não-balanceado alimentando uma restrição, que é o caso em análise, estabelece-se o *pre-set* =  $(n\mu + 3\sigma)$ , onde  $n$  é o número de baldes de tempo<sup>1</sup>, em dias, definido como segurança estratégica e  $\mu$  e  $\sigma$  são a média e desvio-padrão do consumo no período. Através de técnicas de CEP eliminam-se da amostra as causas especiais, aperfeiçoando o algoritmo.





#### 4.1.7 A CADEIA PRODUTIVA SEGUNDO O ALGORITMO TPC

A seguir, na Figura 4.5, de forma sintética, para facilitar o entendimento, com a simbologia do Quadro 4.1, representa-se o sistema produtivo de cimento do grupo Votorantim no RS, segundo os conceitos lógicos do algoritmo TPC<sup>2</sup>. Indicam-se as unidades de mineração e as plantas industriais, as cadeias logísticas de calcário para Pinheiro Machado, calcário e clínquer para Esteio, gesso e cinza para ambas as plantas e clínquer de Curitiba para Esteio. As restrições são o mercado para Pinheiro Machado e a moagem para Esteio. Aplica-se o algoritmo TPC ao sistema, com uma corda entre o hangar de Pinheiro Machado e as unidades de mineração e outra corda entre o hangar de Esteio e as descargas de clínquer, gesso e calcário. Indica-se na planta de Esteio as etapas a serem investigadas por simulação.

<sup>1</sup> Na literatura internacional, esta expressão é encontrada como *time bucket*.

<sup>2</sup> As restrições de processo são as observadas no 2º semestre de 1998 e correspondem à observação local.

Representa-se nas Figuras 4.6 e 4.7 o sistema completo. Na Figura 4.7 numeram-se os blocos que serão simulados, em conexão com o modelo adotado. Os valores associados aos recursos são os típicos de equipamentos e processos<sup>1</sup>. Adotou-se a base comum de 600 horas por mês para a determinação dos valores nominais dos recursos produtivos e de vendas, pois os mesmos trabalham 220, 600 ou 720 horas por mês. Como a clínquerização introduz uma perda de 1,6:1,0 (160 toneladas alimentadas de farinha resultam em 100 toneladas de clínquer) dividem-se os processos que a alimentam por 1,6 para equilibrar a análise. O suprimento de cinza é sazonal e ligado à ativação das centrais termo-elétricas e ao regime de chuvas, sendo a oferta inferior ao consumo. Admite-se cinza úmida, introduzida no processo através de secagem forçada, em secador térmico, em Esteio.

<b>Função</b>	<b>Símbolo</b>
recurso não-restritivo	
recurso restritivo	
pulmão	
corda	

**Quadro 4-1: Simbologia empregada no algoritmo TPC**

<sup>1</sup> A verdadeira representação dos dados de processo ao longo do tempo exige uma distribuição estatística.

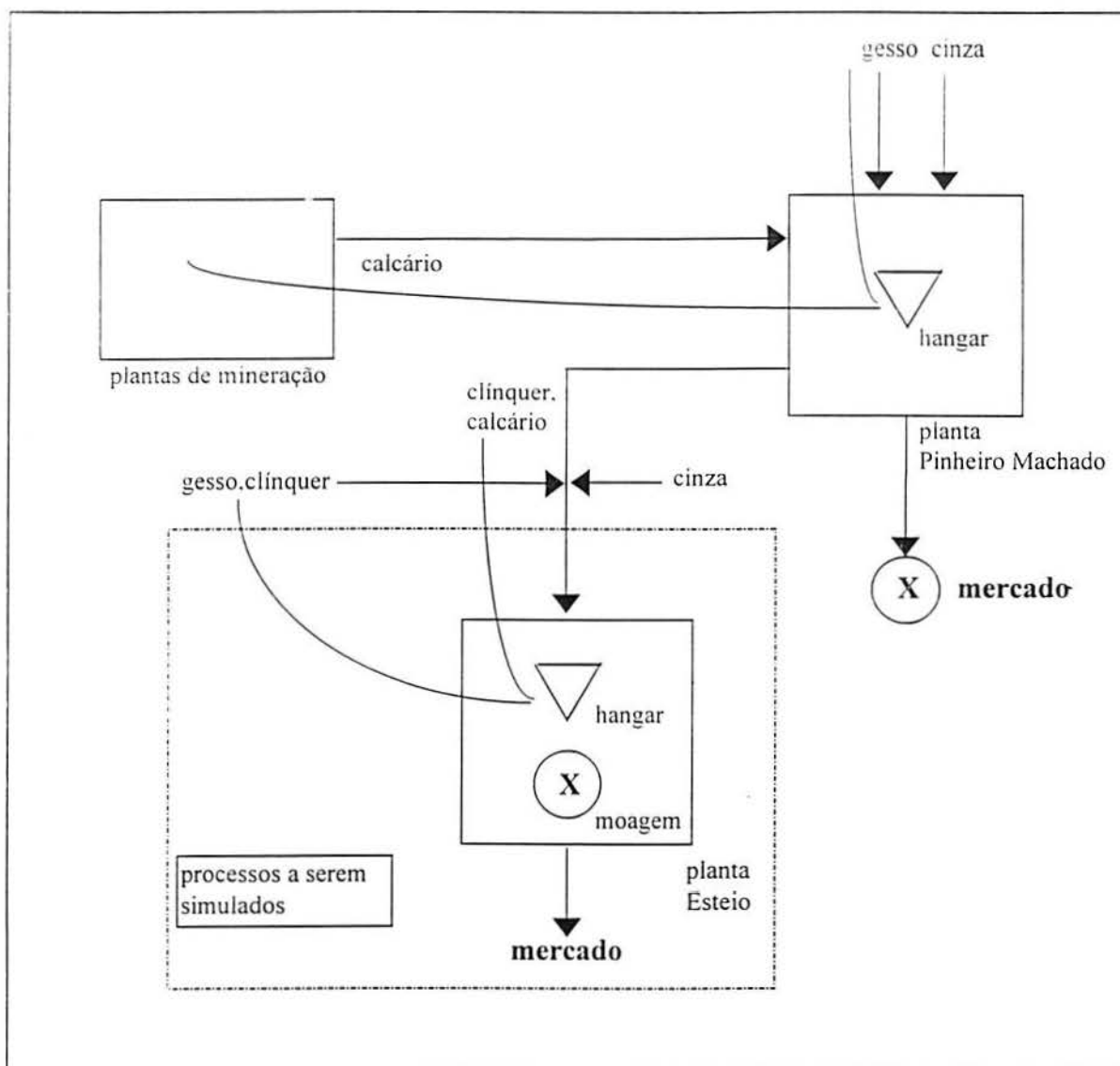


Figura 4-5: Representação sintética do sistema produtivo Votorantim no RS



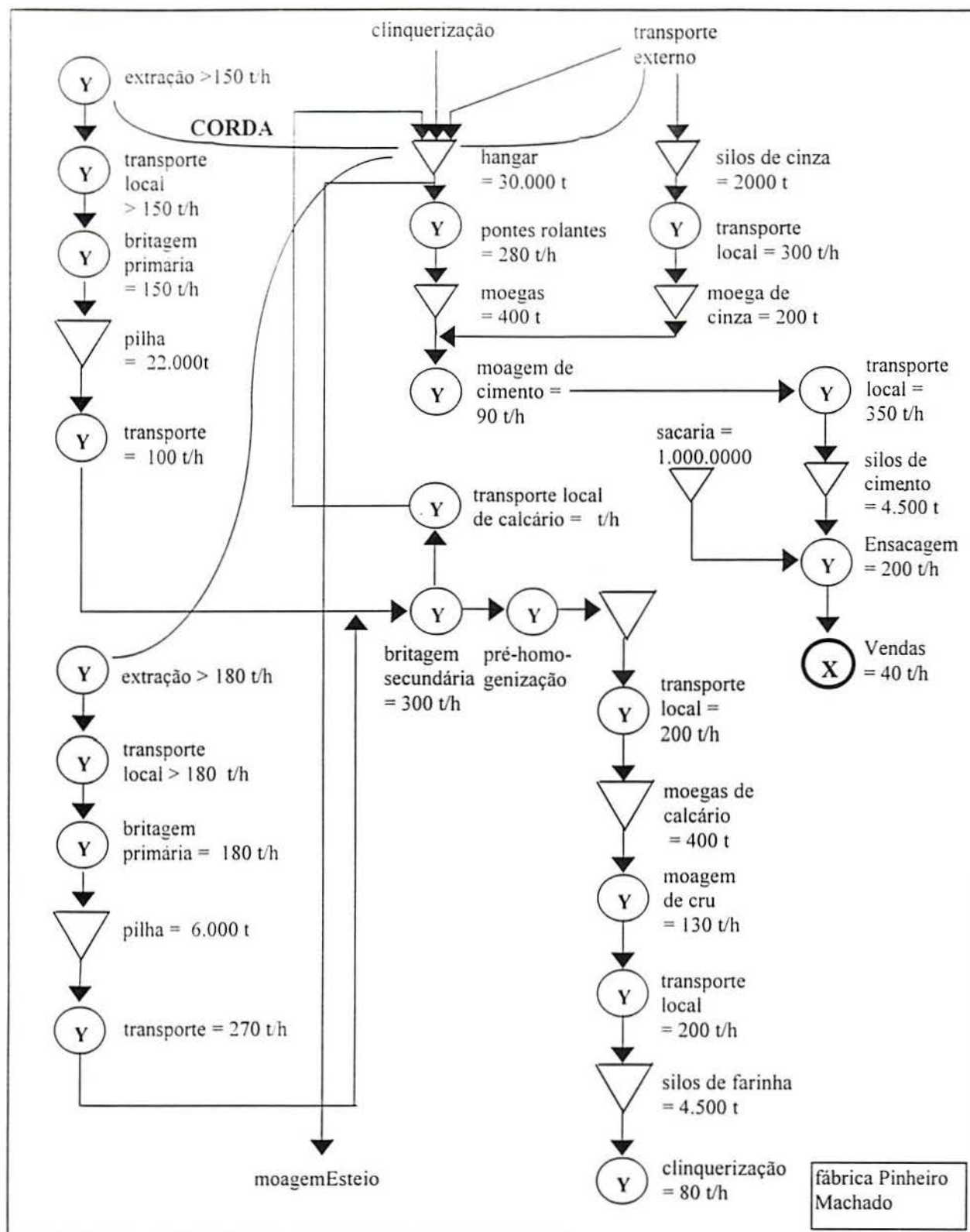


Figura 4-6: Aplicação do algoritmo TPC na planta P. Machado

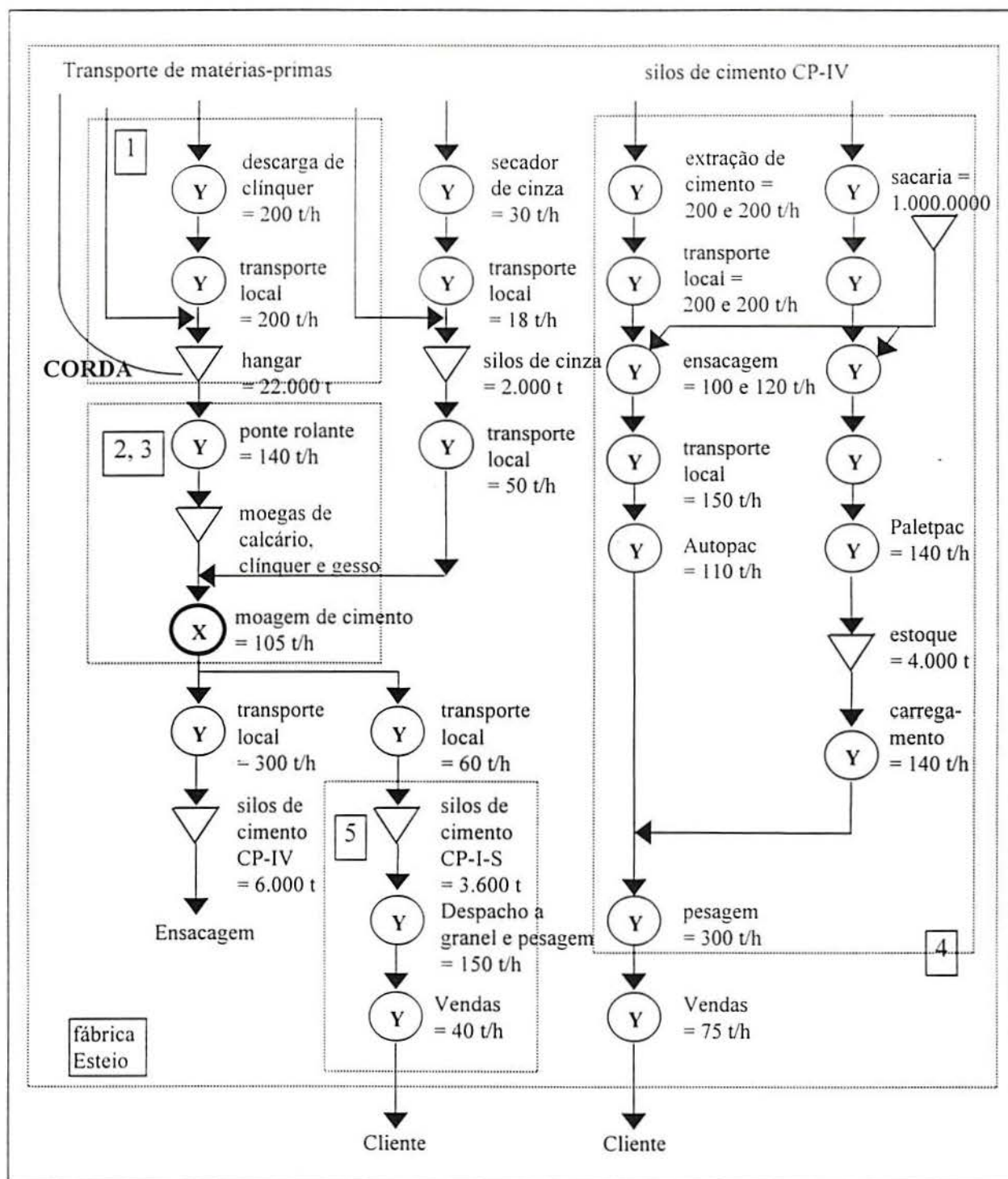


Figura 4-7: Aplicação do algoritmo TPC na planta Esteio

## 4.2 A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA SOLUÇÃO PROPOSTA

Simular todo o sistema produtivo de cimento é uma tarefa de porte excessivo e de pouco resultado prático, devido à limitação de mercado na planta Pinheiro Machado. O foco de negócios está na planta Esteio, que afeta o nível de produção de clínquer de Pinheiro Machado, pois a clinquerização é voltada em cerca de 50% para transferência de material via rodoviária. O grande interesse é simular a operação da planta Esteio, onde a restrição do sistema é interna à unidade. Chegando-se a uma conclusão acerca desta operação, a decisão a ser tomada quanto a inventários afetará a operação Pinheiro Machado.

### 4.2.1 O MODELO E O MÉTODO EMPREGADO NA SIMULAÇÃO

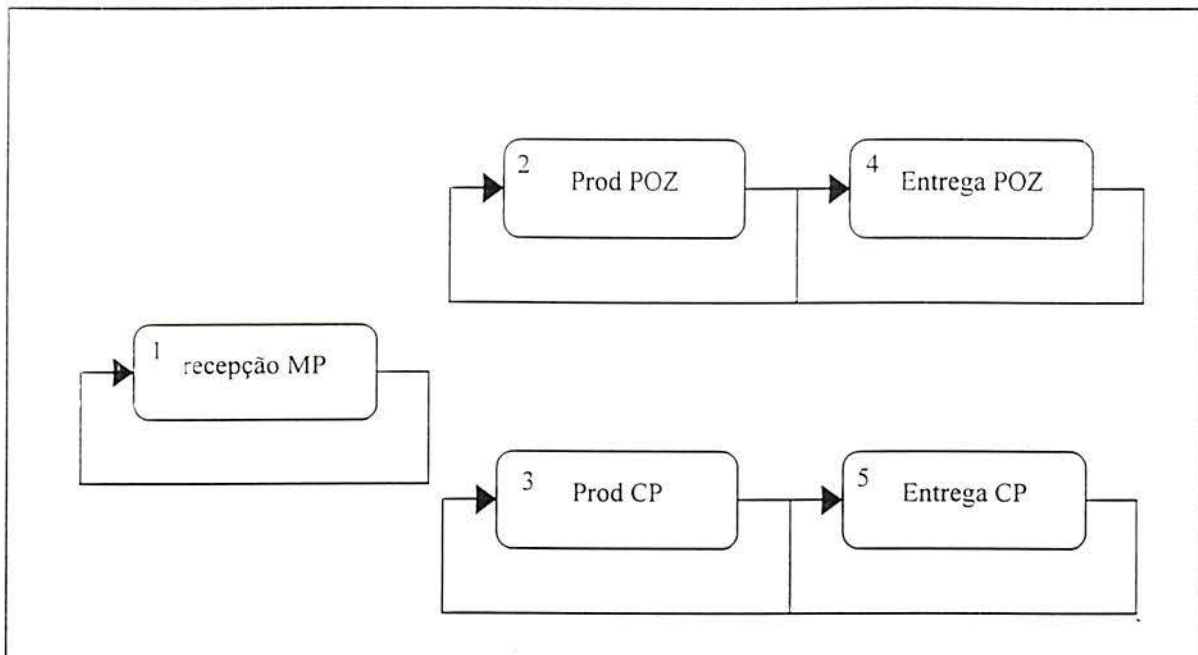
Modela-se o processo separando-o fisicamente nas três etapas a seguir descritas, onde não há interferência mútuas e o resultado de cada uma afeta um nível de inventário:

- recepção e hangar de matérias-primas (pulmão de tempo), bloco 1;
- produção (tambor) de cimento POZ e CP e silos de produto acabado, blocos 2 e 3;
- entrega de produto acabado, dividida em entrega de POZ e de CP, blocos 4 e 5.

Indica-se o modelo nas Figuras 4.7 e 4.8, pelos correspondentes blocos numerados de 1 a 5.

Será empregada a limitação linear do inventário, através do seguinte método:

- coleta dos seguintes dados referentes a sessenta dias de operação:
  - matérias-primas (gesso, cinza, calcário e clínquer) descarregadas no hangar;
  - cimento POZ e CP produzidos;
  - cimento POZ e CP despachados.



**Figura 4-8: Modelo da simulação**

- modelagem dos dados pelo *software Expertfix* determinando cinco distribuições estatísticas que descrevam o comportamento das cinco grandezas coletadas;
- estabelecimento do modelo no simulador;
- estabelecimento das condições iniciais dos estoques de matéria-prima e produto acabado;
- validação do modelo através da comparação da operação simulada com a operação real;
- simulação de cem dias de operação, através de dez corridas, cada uma segundo uma base randômica diferente, para os quatro cenários a seguir<sup>1</sup>:
  - sem limitação de recebimento de matéria-prima (situação 1);
  - limitação de  $(3\mu + 3\sigma)$  do consumo no inventário de matéria-prima (situação 2);
  - limitação de  $(2\mu + 3\sigma)$  do consumo no inventário de matéria-prima (situação 3);
  - limitação de  $(1\mu + 3\sigma)$  do consumo no inventário de matéria-prima (situação 4);

<sup>1</sup> O simulador *MicroSaint* possui uma semente randômica que permite repetir o teste em bases diversas e considerar os efeitos de variações estatísticas, o que confere aderência do modelo à operação real.



- verificação se as situações diferem pela *anova* e comparação múltipla de médias;
- enunciado de uma conclusão acerca dos cenários investigados.

#### 4.2.2 A EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO

A simulação se inicia com a coleta dos dados reais de matérias-primas, produção e entrega de cimento, obtidos do sistema gerencial informatizado existente, seguro e confiável, e considerando a totalidade das matérias-primas. Como se objetiva testar se o nível de inventário de matéria-prima afeta o ganho relacionado com as vendas e, caso afete, até que ponto se pode baixá-lo antes de afetar o ganho, simular o total de matérias-primas ou cada uma em separado conduzirá a uma mesma conclusão, a menos de um fator de escala.

Os dados coletados de entrada de matéria-prima, produção e entregas de produtos são apresentados nos Quadros 4.2 e 4.3. Cada quadro representa trinta dias consecutivos de observação. A entrada de matéria-prima é considerada dia-a-dia e a produção é considerada hora-a-hora. A produção horária é calculada como  $(\text{produção do dia})/(21,15)$ , sendo as horas/semana =  $(5*20 + 2*24)/7$ . Ocupam-se 20 horas de segunda a sexta e 24 horas no sábado e domingo. Consideram-se entregas em 5 dias por semana, incorporando-se as entregas de CP-I-S dos sábados aos dias úteis.

As distribuições que descrevem os processos estão no Quadro 4.4. Não se chegando a uma distribuição que descrevesse a produção de CP-I-S, adotou-se uma distribuição empírica, ponto a ponto. As demais grandezas foram descritas por distribuições beta de probabilidade.

Os níveis de inventário totais a serem testados são representados no Quadro 4.5.

Definem-se as seguintes grandezas binárias:

- **Falta de matéria-prima:** quando a matéria-prima total no início do dia cai abaixo de 1.000 toneladas, interrompe-se a produção, programando-se manutenção preventiva. São contabilizados o total de dias em que a matéria-prima cai abaixo de 1.000 toneladas.
- **Falta de CP ou POZ:** quando o total de cimento CP ou POZ em uma dada hora cai abaixo de 200 toneladas, não é possível retirar com segurança dos silos. Considera-se que nesta hora não haverá entrega do cimento em falta. São contabilizados o total de horas em que cada tipo de cimento cai abaixo de 200 toneladas.

Realizaram-se dez simulações com sementes randômicas diferentes, para as situações do Quadro 4.5. Para cada situação obteve-se o número de dias em que faltou matéria-prima, o número de horas em que faltou cimento CP e POZ e a quantidade total de entregas de cimento CP e POZ. Iniciando com o máximo nível de inventário e progressivamente diminuindo este nível, através da ferramenta estatística *anova* de um fator e do correspondente teste F, determina-se se, para efeito de entregas, existe alguma situação diferente das demais. O grau de significância será  $\alpha = 0,05$ . Havendo esta diferença, através da comparação múltipla de médias determina-se qual situação de inventário ultrapassou o ponto de quebra, ou seja, o limite mínimo de inventário com o qual, consideradas as flutuações estatísticas, é seguro operar, sem desproteger o ganho gerado pelas entregas.

entrada MP	produção CP	produção POZ	produção total	entrega CP	entrega POZ
3.379	0	2.150	2.150	1.872	900
1.758	590	1.660	2.250	1.514	1.054
2.488	1.140	960	2.100	25	159
434	1.130	980	2.110	0	0
2.888	1.150	960	2.110	2.517	815
1.814	310	2.150	2.460	1.865	836
2.406	310	2.170	2.480	2.563	840
3.025	310	2.190	2.500	2.334	938
1.500	310	2.170	2.480	1.669	1.010
1.090	1.400	950	2.350	24	291
456	1.220	1.230	2.450	0	0
4.227	450	1.890	2.340	0	0
2.098	670	1.160	1.830	2.730	1.040
2.972	310	2.130	2.440	2.594	1.088
2.458	310	2.170	2.480	2.633	742
2.306	280	1.520	1.800	2.495	600
4.128	1.440	940	2.380	23	237
1.779	1.460	980	2.440	0	0
2.013	250	2.160	2.410	2.338	499
1.722	310	2.200	2.510	2.417	591
2.251	270	2.170	2.440	2.403	680
3.549	310	2.060	2.370	2.487	736
2.119	300	2.000	2.300	2.201	609
4.238	1.400	920	2.320	44	310
349	1.090	1.450	2.540	0	0
2.201	310	2.110	2.420	2.551	442
3.370	300	2.090	2.390	2.234	759
2.217	800	1.360	2.160	2.417	682
3.419	300	2.070	2.370	2.267	625
3.262	300	2.120	2.420	1.852	901
3.744	350	1.890	2.240	364	337

Quadro 4-2: Dados coletados para simulação, parte 1

entrada MP	produção CP	produção POZ	produção total	entrega CP	entrega POZ
1.094	1.220	880	2.100	0	0
0	430	790	1.220	0	0
4.601	160	1.100	1.260	709	3.398
2.864	180	1.930	2.110	1.017	3.308
2.500	230	1.600	1.830	936	3.568
2.869	300	2.010	2.310	1.112	3.569
1.647	1.260	900	2.160	385	576
728	1.310	920	2.230	0	0
1.440	260	2010	2.270	1.110	3.878
2.089	550	1.600	2.150	951	3.428
1.777	220	1.650	1.870	1.009	3.337
2.931	310	2.020	2.330	1.025	3.675
2.499	240	990	1.230	856	2.459
2.973	990	1.440	2.430	647	1.276
306	1.360	920	2.280	0	0
1.723	570	1.600	2.170	658	2.864
2.538	310	1.940	2.225	735	3.204
3.178	310	2.030	2.340	679	2.777
2.016	310	2.010	2.320	715	2.878
2.298	570	1.460	2.030	634	1.913
2.910	1.370	920	2.290	460	745
442	1.370	920	2.290	0	0
1.932	760	780	1.540	749	3.354
2.300	90	1.930	2.020	865	2.455
2.289	230	1.720	1.950	813	2.792
1.990	80	1.970	2.050	885	2.899
1.472	500	1.340	1.840	736	2.269
2.659	1.360	920	2.280	396	735
367	790	1.560	2.350	0	0
2.233	280	1.970	2.250	813	3.328

**Quadro 4-3: Dados coletados para simulação, parte 2**



grandeza	distribuição
entrada MP	$\text{cheg\_mp} := 4650.000000 * \text{beta}(0.552884, 0.188333)$
produção POZ	$\text{prod\_poz} := 30.000000 + 65.000000 * \text{beta}(0.545180, 0.288879)$
produção CP	empirical
entrega POZ	$\text{entrega\_poz} := 50.000000 + 70.000000 * \text{beta}(0.635598, 0.227255)$
entrega CP	$\text{entrega\_cp} := 20.000000 + 35.000000 * \text{beta}(0.475414, 0.222799)$

Quadro 4-4: Distribuição probabilística das grandezas coletadas

### 4.3 RESULTADOS E ANÁLISE DA SIMULAÇÃO

A seguir, com a *anova* para  $\alpha = 0,05$  e a comparação múltipla de médias, analisam-se os resultados das grandezas nas dez rodadas de simulação e quatro situações do Quadro 4.5.

média de produção diária ( $\mu$ ) = 2.193	nível máximo	estoque inicial
desvio-padrão de produção diária ( $\sigma$ ) = 301	toneladas	toneladas
<b>situação 1</b>	22.000	15.000
$3\mu + 3\sigma = 7.484$ ; <b>situação 2</b>	7.500	5.000
$2\mu + 3\sigma = 5.290$ ; <b>situação 3</b>	5.300	2.500
$1\mu + 3\sigma = 3.097$ ; <b>situação 4</b>	3.100	2.030

Quadro 4-5: Níveis de inventário a serem testados

### 4.3.1 ANÁLISE PARA A ENTRADA DE MATÉRIA-PRIMA

Nos Quadros 4.6, 4.7 e 4.8 registram-se os valores simulados, a *anova* e comparam-se as médias. Conclui-se que a situação 1 difere das situações 2 e 3, que diferem da situação 4.

Usando a notação apropriada, têm-se:  $\bar{x}_1$  ;  $\bar{x}_2, \bar{x}_3$  ;  $\bar{x}_4$  .

rodada	sit. 1; < 22.000 t	sit. 2; < 7.500 t	sit. 3; < 5.300 t	sit. 4; < 3.100 t
1	228.829	221.293	220.164	192.836
2	225.279	216.634	214.902	195.875
3	226.065	220.581	217.808	184.703
4	223.674	217.080	215.353	191.164
5	226.148	216.452	217.663	187.985
6	225.556	219.090	217.520	191.588
7	223.441	218.943	218.243	188.749
8	225.069	218.763	217.282	190.226
9	227.731	220.109	213.425	193.746
10	223.471	214.889	214.189	197.924
Médias	225.526	218.383	216.655	191.480

Quadro 4-6: Simulação de entrada de matéria-prima

Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	valor- <i>P</i>	<i>F</i> crítico
Entre grupos	6.623.746.090	3	2.207.915.363	329,33	3,23E-26	2.87
Dentro dos grupos	241.353.708	36	6.704.269			
Total	6.865.099.798	39				

Quadro 4-7: *Anova* para a entrada de matéria-prima

Grupo	Média	diferem significativamente?
sit. 1	225.526	
sit. 2	218.383	sim
sit. 3	216.655	não
sit. 4	191.480	sim
limite de decisão =	2.456	

Quadro 4-8: Comparação múltipla de médias para a entrada de matéria-prima

### 4.3.2 ANÁLISE PARA A FALTA DE MATÉRIA-PRIMA

Nos Quadros 4.9, 4.10 e 4.11 registram-se os valores simulados, a *anova* e comparam-se as médias. Conclui-se que as situações 1, 2 e 3 não diferem entre si e diferem da situação 4.

Usando a notação apropriada, têm-se:  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$  ;  $\bar{x}_4$  .

rodada	sit. 1; < 22.000 t	sit. 2; < 7.500 t	sit. 3; < 5.300 t	sit. 4; < 3.100 t
1	0	0	1	284
2	0	0	22	194
3	0	0	10	331
4	0	0	11	281
5	0	0	4	300
6	0	0	9	298
7	0	0	0	292
8	0	0	3	277
9	0	0	48	254
10	0	0	0	191
Médias	0	0	11	270

Quadro 4-9: Simulação de faltas de matéria-prima

Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	533.844	3	177.948	312.84	7.87E-26	2.87
Dentro dos grupos	20.477	36	568			
Total	554.322	39				

Quadro 4-10: *Anova* para a falta de matéria-prima

Grupo	Média	diferem significativamente?
sit. 1	0	
sit. 2	0	não
sit. 3	10,8	não
sit. 4	270,2	sim
limite de decisão =	23	

Quadro 4-11: Comparação múltipla de médias para a falta de matéria-prima

### 4.3.3 ANÁLISE PARA A FALTA DE CIMENTO POZ

Nos Quadros 4.12, 4.13 e 4.14 registram-se os valores simulados, a *anova* e comparam-se as médias. Conclui-se que as situações 1, 2 e 3 não diferem entre si e diferem da situação 4.

Usando a notação apropriada, têm-se:  $\overline{x_1 x_2 x_3}$  ;  $\overline{x_4}$  .



rodada	sit. 1: < 22.000 t	sit. 2: < 7.500 t	sit. 3: < 5.300 t	sit. 4: < 3.100 t
1	469	534	576	1.549
2	1.381	1.353	1.329	1.590
3	1.199	1.173	1.180	1.580
4	1.190	1.164	1.164	1.580
5	1.288	1.425	1.425	1.612
6	1.205	727	970	1.553
7	1.213	902	902	1.532
8	1.086	919	919	1.536
9	1.319	1.234	1.481	1.617
10	1.397	1.423	1.423	1.624
Médias	1.175	1.085	1.137	1.577

**Quadro 4-12: Simulação de faltas de cimento POZ**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1.525.150	3	508.383	8,16	2,84E-4	2,87
Dentro dos grupos	2.243.552	36	62.320			
Total	3.768.702	39				

**Quadro 4-13: Anova para a falta de cimento POZ**

Grupo	Média	diferem significativamente?
sit. 1	1175	
sit. 2	1085,4	não
sit. 3	1136,9	não
sit. 4	1577,3	sim
limite de decisão =	237	

**Quadro 4-14: Comparação múltipla de médias para a falta de cimento POZ**

#### 4.3.4 ANÁLISE PARA A FALTA DE CIMENTO CP

Nos Quadros 4.15, 4.16 e 4.17 registram-se os valores simulados, a *anova* e comparam-se as médias. Conclui-se que as situações 1, 2 e 3 não diferem entre si e diferem da situação 4.

Usando a notação apropriada, têm-se:  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_4$ .

rodada	sit. 1; < 22.000 t	sit. 2; < 7.500 t	sit. 3; < 5.300 t	sit. 4; < 3.100 t
1	317	167	83	1.457
2	1.224	1.162	1.199	1.547
3	1.145	917	1.081	1.472
4	1.390	1.286	1.286	1.523
5	0	840	1.017	1.580
6	661	659	1.081	1.543
7	892	700	700	1.435
8	603	1.261	1.261	1.529
9	72	156	931	1.540
10	1.148	806	806	1.556
Médias	745	795	945	1.518

Quadro 4-15: Simulação de faltas de cimento CP

Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	valor- <i>P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3.783.930	3	1.261.310	9,43	9,78E-5	2,87
Dentro dos grupos	4.813.544	36	133.709			
Total	8.597.474	39				

Quadro 4-16: *Anova* para a falta de cimento CP

Grupo	Média	diferem significativamente?
sit. 1	745	
sit. 2	795,4	não
sit. 3	944,5	não
sit. 4	1518,2	sim
limite de decisão =	347	

**Quadro 4-17: Comparação múltipla de médias para a falta de cimento CP**

### 4.3.5 ANÁLISE PARA A ENTREGA DE CIMENTO POZ

Nos Quadros 4.18, 4.19 e 4.20 registram-se os valores simulados, a *anova* e comparam-se as médias. Conclui-se que as situações 1, 2 e 3 não diferem entre si e diferem da situação 4.

Usando a notação apropriada, têm-se:  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$  ;  $\bar{x}_4$  .

rodada	sit. 1; < 22.000 t	sit. 2; < 7.500 t	sit. 3; < 5.300 t	sit. 4; < 3.100 t
1	162.135	162.487	161.857	142.404
2	159.784	160.262	159.512	146.791
3	161.701	161.403	160.189	138.996
4	160.221	160.694	159.935	142.457
5	158.692	158.419	159.973	139.338
6	159.965	160.018	159.923	142.825
7	160.130	161.360	161.360	141.363
8	159.099	160.603	160.661	142.038
9	160.057	160.493	156.865	144.691
10	159.104	158.584	158.385	145.682
Médias	160.089	160.432	159.866	142.659

**Quadro 4-18: Simulação de entregas de cimento POZ**

Fonte da variação	$SQ$	$gl$	$MQ$	$F$	valor- $P$	$F$ crítico
Entre grupos	2.290.774.271	3	763.591.424	275,24	7.19 E-25	2,87
Dentro dos grupos	99.874.182	36	2.774.282			
Total	2.390.648.454	39				

**Quadro 4-19: Anova para entregas de cimento POZ**

Grupo	Média	diferem significativamente?
sit. 1	160.089	
sit. 2	160.432	não
sit. 3	159.866	não
sit. 4	142.659	sim
limite de decisão =	1580	

**Quadro 4-20: Comparação múltipla de médias para a entrega de cimento POZ**

#### 4.3.6 ANÁLISE PARA A ENTREGA DE CIMENTO CP

Nos Quadros 4.21, 4.22 e 4.23 registram-se os valores simulados, a *anova* e comparam-se as médias. Conclui-se que as situações 1, 2 e 3 não diferem entre si e diferem da situação 4.

Usando a notação apropriada, têm-se:  $\overline{x_1}, \overline{x_2}, \overline{x_3}$  ;  $\overline{x_4}$  .



rodada	sit. 1; < 22.000 t	sit. 2; < 7.500 t	sit. 3; < 5.300 t	sit. 4; < 3.100 t
1	62.959	62.951	63.151	55.973
2	62.003	62.054	61.568	54.568
3	62.604	63.350	62.312	51.267
4	61.434	61.041	60.774	54.251
5	63.350	62.920	62.857	54.182
6	62.413	63.151	62.376	54.342
7	60.685	61.671	61.671	52.898
8	62.869	62.214	62.254	53.620
9	63.609	63.509	62.254	54.611
10	61.964	62.907	62.812	57.740
Médias	62.389	62.577	62.203	54.345

**Quadro 4-21: Simulação de entregas de cimento CP**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	486.037.774	3	162.012.591	133,15	1,52 E-19	2,87
Dentro dos grupos	43.805.196	36	1.216.811			
Total	529.842.970	39				

**Quadro 4-22: Anova para entregas de cimento CP**

Grupo	Média	diferem significativamente?
sit. 1	62.389	
sit. 2	62.577	não
sit. 3	62.203	não
sit. 4	54.345	sim
limite de decisão =	1.046	

**Quadro 4-23: Comparação múltipla de médias para a entrega de cimento CP**

#### 4.3.7 RESUMO DAS COMPARAÇÕES E CONCLUSÃO

As simulações que realmente interessam para que se avalie a introdução da produção sincronizada são aquelas ligadas à geração de ganho, resumidas no quadro 4.24, e que consideram as entregas de cimento POZ e cimento CP. As simulações de entrada de matéria-prima e das faltas de cimento interessam para análise dos processos intermediários e, pelo seu resultado, antecipam e corroboram a conclusão.

sit.	limite ton	médias POZ	diferem?	médias CP	diferem?
1	22.000	160.089		62.389	
2	7.500	160.432	1X2; não	62.577	1X2; não
3	5.300	159.866	2X3; não	62.203	2X3; não
4	3.100	142.659	3X4; sim	54.345	3X4; sim

**Quadro 4-24: Análise dos resultados simulados para entregas de cimento**

Observa-se no Quadro 4.24 que as entregas de cimento começam a ser prejudicadas na transição da situação 3 para a situação 4. Conclui-se, portanto, que, partindo de um inventário atual limitado a 22.000 toneladas, por absoluta falta de espaço físico para ser aumentado, pode-se reduzir este limite a algum número entre 5.300 e 3.100 toneladas, sem que haja perda de ganho causada por queda nas entregas. Como a faixa localizada já é sensivelmente inferior à praticada hoje, julga-se que, para limitação linear de inventário, a cota de 5.300 toneladas garante suficiente aproximação da organização à sua meta, pela redução de inventário obtida. A continuidade da investigação simulada para a determinação da cota exata é redundante, pois, a partir deste ponto, sugerem-se experiências práticas para verificação das conclusões e

estabelecimento da cota definitiva, dinâmica, e que considere as condições de produção e vendas do dia-a-dia.

#### **4.4 BENEFÍCIOS ESPERADOS COM A INTRODUÇÃO DA PRODUÇÃO SINCRONIZADA**

Após a introdução da produção sincronizada, podem-se esperar diversos tipos de benefícios, a seguir classificados e comentados, com base na experiência prática gerencial de chão-de-fábrica e na análise das situações propostas.

##### **4.4.1 BENEFÍCIOS OPERACIONAIS QUANTIFICÁVEIS**

Podem-se esperar os seguintes benefícios, quantificáveis através de sistemas existentes:

- **Redução da perda financeira associada ao fluxo de caixa:** Postergam-se despesas decorrentes da compra de matéria-prima, combustíveis para processos térmicos, extração e transporte e energia elétrica, hoje empregada antecipadamente nas moagens de cru e cimento. Para empresa capitalizada, este custo é o custo de oportunidade perdida de aplicação de capital no mercado financeiro ou na melhoria de outros processos ou máquinas. Para o caso da empresa empregar capital de giro de terceiros, a perda está relacionada com a taxa de juros de mercado. Esta perda pode ser calculada pelo desenvolvimento constante no Quadro 2.2.
- **Redução do custo de manutenção de estoques:** Neste custo incidem combustível, energia elétrica e mão-de-obra de transporte interno (ponte rolante e carregadeira), perdas por contaminação de matérias-primas originadas de misturas entre partes no hangar, perdas por



deterioração de matéria-prima, submetidas a umidades e outras condições ambientais desfavoráveis. Incluem-se ainda horas-extras de operadores de veículos para ordenação de materiais em má situação.

- **Redução de paradas dos moinhos de cimento e secador de cinza:** Os moinhos de cimento compartilham a ponte rolante com o hangar, ocorrendo paradas por defeitos na ponte rolante. Estes defeitos são causados pelo uso excessivo da ponte nas tarefas de manutenção de estoques. Situação semelhante ocorre no secador de cinzas, que compartilha a carregadeira. No caso do secador, a situação se agrava, pois o ciclo de trabalho é mais rígido e os tempos de recorrência menores que os da ponte rolante. Pode acontecer de o secador ou os moinhos pararem por falta de alimentação de matéria-prima, devido a que os elementos de transporte interno não estão disponíveis.
- **Aumento de produtividade nos moinhos de cimento:** A característica de produtividade do moinho de cimento depende fortemente do estado dos dispositivos internos, como grelhas e tabiques, que podem incrustar repentinamente ao longo da operação. Há necessidade de monitoração constante do estado da máquina e uma alternativa é a medição permanente de produtividade. Outro indicativo de entupimento de grelhas é o aumento da depressão no circuito de tiragem. Pela diversidade granulométrica das matérias-primas, um método adequado de medição é pelo consumo dos estoques primários, consistindo em um gerenciamento de pulmão físico. Se este consumo fugir do padrão esperado, a perda de produtividade é detectada imediatamente. A produtividade dos moinhos é controlada pelos níveis de estoques de produto acabado e matéria-prima. Para um inventário médio de 20.000 toneladas, a sobra de 1.000 toneladas, forte indicativo de queda de produtividade, dificilmente é detectada. Caso o inventário médio caia para 5.000 toneladas, uma sobra de 1.000 toneladas seria detectada imediatamente e a causa da perda de produtividade seria logo investigada.



- **Renegociação dos contratos de transporte externo:** O tempo de espera de transportadores para descarga reduziria sensivelmente, reduzindo a necessidade de frota e a ocupação da frota atual. Esta redução ofereceria justificativa para renegociação dos contratos, em bases mais adequadas.
- **Redução do custo de manutenção física do hangar:** Com carga baixa, as intervenções para reforço de estrutura e demais manutenções civis no hangar desapareceriam.

#### 4.4.2 BENEFÍCIOS OPERACIONAIS NÃO-QUANTIFICÁVEIS DIRETAMENTE

Podem-se esperar reduções de despesas financeiras, de difícil contabilização através dos sistemas gerenciais existentes, causadas pela eliminação das seguintes situações:

- **Perda de matéria-prima para o ambiente:** São emissões fugitivas originadas no hangar e nos depósitos a céu aberto, causadas por agentes naturais como vento e chuvas.
- **Manutenções permanentes nos sistemas de esgotamento pluviais:** São necessárias, devido à deposição de matérias-primas de alta granulometria, arrastadas por chuvas.
- **Danos por enxurradas:** São transbordamentos causados por obstrução do esgoto pluvial por matérias-primas arrastadas por chuvas.
- **Perda de precisão na operação da ponte rolante:** Ocorre perda de precisão do operador e fadiga operacional, devido à retenção de parcela das emissões fugitivas no hangar. Esta perda de precisão se manifesta através de erros na operação de alimentação dos moinhos, com consumo excessivo de energia e tempo para concluir a tarefa, e acidentes, com dano ao patrimônio físico do hangar e da ponte rolante.

#### 4.4.3 BENEFÍCIOS NÃO-TANGÍVEIS

GOLDRATT (1991) coloca que surgem benefícios não-tangíveis com a redução do inventário. Para o caso em estudo, podem-se também esperar ganhos não-tangíveis nas relações da empresa com agentes produtivos e não-produtivos, vindos da melhoria das seguintes relações:

- **Fornecedores de transporte:** a espera decorrente das dificuldades logísticas de gestão de estoque desapareceria, tornando a relação com transportadores menos desgastante.
- **Clientes transportadores:** os veículos de fornecedores são obrigados a compartilhar recursos como pátio de estacionamento, áreas de manobra, portaria e pesagem. Havendo um procedimento de descarga mais ágil, este compartilhamento prejudicaria menos o cliente transportador, eliminando um ponto de desgaste na sua relação com a empresa.
- **Funcionários:** a longa espera de transportadores nos pátios internos e pistas de rolamento faz com que os mesmos desenvolvam hábitos de comportamento e higiene nocivos à visão de limpeza e organização do trabalho. Estes maus hábitos afetam os funcionários, prejudicando os programas de racionalização e limpeza. Adicionalmente, as emissões do hangar prejudicam aspectos ergonômicos e a saúde ocupacional da equipe.
- **Comunidade:** a longa permanência de transportadores no âmbito da empresa faz com que os motoristas requeiram recursos de convivência, indesejados na comunidade. As emissões fugitivas geradas no hangar e nos depósitos a céu aberto alcançam a comunidade, com danos ao patrimônio, saúde e bem-estar das pessoas, e desvalorização das propriedades.
- **Poder público e autoridades:** as agressões ambientais e à saúde de trabalhadores são riscos permanentes de demandas judiciais transitadas por órgãos públicos como Fepam, Ministério do Trabalho e Justiça do Trabalho.

## 4.5 PLANO DE AÇÃO PARA INTRODUIR A PRODUÇÃO SINCRONIZADA

A seguir, conclui-se o processo de introdução da produção sincronizada, gerenciando-se a mudança pelas ferramentas da *TOC*. Analisam-se as implicações, previnem-se problemas potenciais e propõe-se um plano de ação para a mudança, sob a forma das ferramentas lógicas de raciocínio da *TOC*. Descreve-se a situação desejada para após a mudança pela Árvore da Realidade Futura (ARF) e o plano de ação pelas Árvores de Transição e de Pré-requisitos.

### 4.5.1 A ÁRVORE DA REALIDADE FUTURA

A Árvore da Realidade Futura da Figura 4.9 emprega injeções (retângulos de cantos retos) que são as medidas externas transformadoras da realidade, determinadas pelos cinco passos de focalização de problemas: introdução do ganho por unidade de restrição e do algoritmo TPC e regra do “papa-léguas”. Considerem-se seus efeitos em conjunto com os entes existentes. A primeira injeção propõe que cada departamento seja avaliado pelo ganho gerado por unidade de restrição ( $G/UnR$ , injeção 1). É o ganho de cada unidade do produto (preço de venda menos custo da matéria-prima e energia), dividido pelo tempo empregado na restrição. Como os agentes se comportam do modo com que são medidos (100), induzem-se os departamentos a maximizarem o  $G/UnR$  (110). Departamentos têm desempenhos diferentes em produtos diferentes (115), privilegiando os itens de maior ganho por unidade restritiva (135). Processam-se os pedidos na sequência ótima quanto ao  $G/UnR$  (130). Adota-se o algoritmo TPC e a “regra do papa-léguas” (injeção 2), prevenindo a produção para estoque (150).



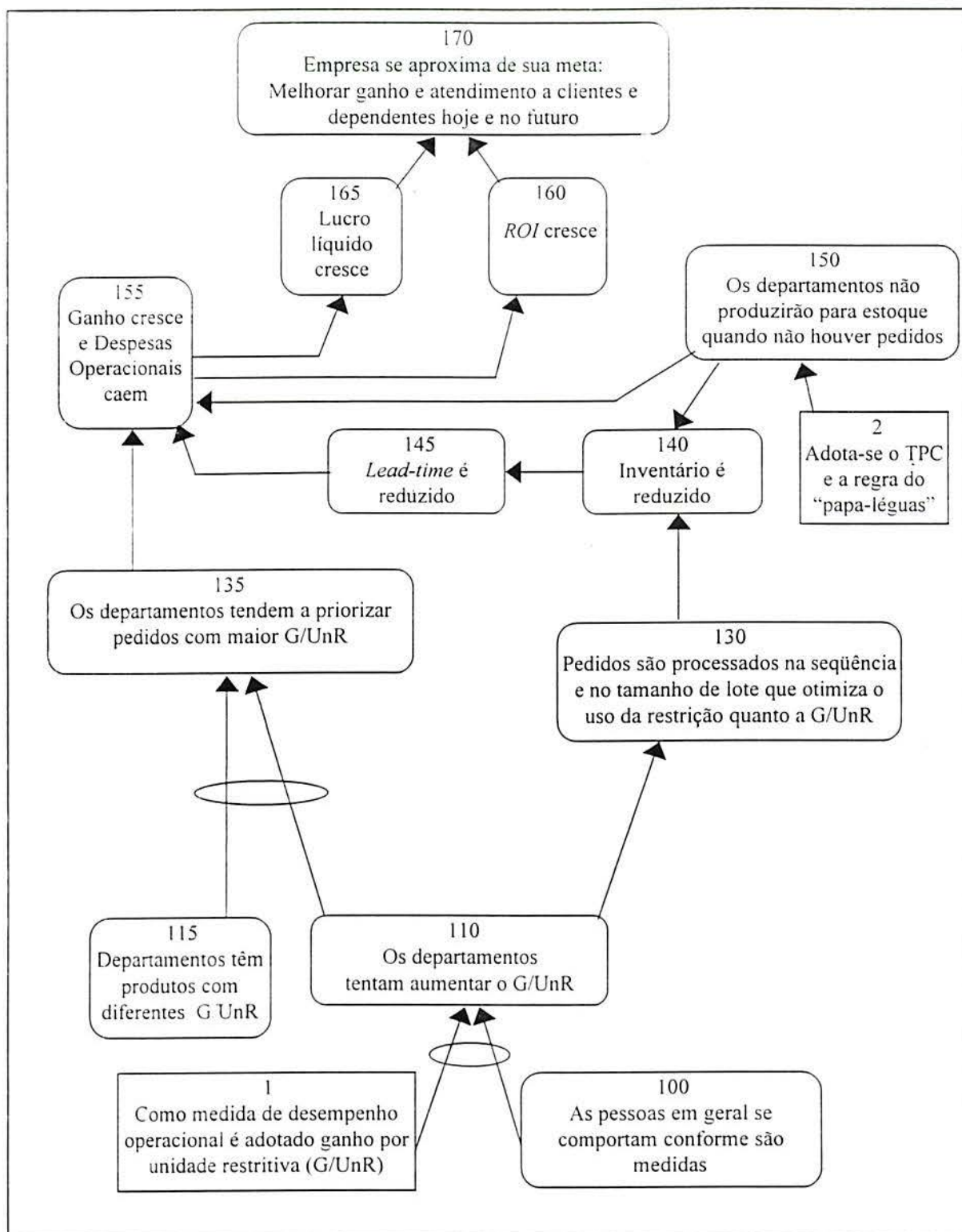


Figura 4-9: Árvore da Realidade Futura do caso em estudo



Inventário e *lead-time* são reduzidos (140 e 145), o ganho cresce, as despesas operacionais caem (155), e o lucro líquido e o *ROI* crescem (160 e 65), aproximando a organização de sua meta (170).

#### 4.5.2 A ÁRVORE DOS PRÉ-REQUISITOS

Conforme NOREEN *et alli* (1994), o propósito da árvore dos Pré-Requisitos é identificar os obstáculos à implementação de um plano de ação ou de uma mudança. No caso em estudo, objetiva-se introduzir a produção sincronizada em uma unidade industrial de Propriedade. As ações necessárias a esta introdução são as injeções relacionadas na Árvore da Realidade Futura, da Figura 4.9. Reenumerem-se estas injeções:

1. Adota-se o ganho por unidade restritiva (G/UnR) como medida de desempenho;
2. Adota-se o TPC e a regra do “papa-léguas”.

A organização em análise entregava quando da realização deste trabalho cimento CP-IV, em sacos de 50 kg e 25 kg e cimento CP-I-S a granel. Para CP-IV adota três tipos de logísticas: carregamento manual por via rodoviária e ferroviária, paletizado e através de *truck-loader*. Entrega ainda argamassas industriais, fabricadas e embaladas em outra unidade. Portanto, o *mix* de produtos não é complexo o suficiente para que o ganho seja prejudicado por *set-up's* sucessivos na restrição. Adicionalmente, sempre é possível planejar os *set-up's* na restrição para que ocorram no “horário de ponta”, sem prejuízo na produção. Portanto, considera-se que a aplicação das injeções um e dois, citadas, são suficientes para atingir-se o objetivo.

Inicia-se a Árvore de Pré-Requisitos colocando-se no alto a injeção visada. Recua-se até encontrar um obstáculo à eficácia desta injeção. Este obstáculo deverá ser neutralizado por um objetivo intermediário que, se não for alcançado, permitirá que o obstáculo temido inviabilize

a eficácia da injeção. Sucessivamente, recua-se até que se atinja uma situação na qual o primeiro objetivo intermediário permita dar início seguro ao processo de mudança.

As conexões entre objetivos e obstáculos devem ser entendidas como:

- para alcançar o “objetivo final” , deve-se alcançar antes o “objetivo intermediário” , para evitar a ação do “obstáculo”.

Nas Figuras 4.10 e 4.11 representam-se as Árvores de Pré-Requisitos. Depreende-se da Figura 4.10 que, para a introdução do TPC e da “regra do papa-léguas”, é necessário neutralizar a tendência dos departamentos a não pararem máquinas e transportes não-restritivos, quando se atingirem os níveis de inventário que dispararão as interrupções. Esta tendência se origina do fato de que seu desempenho é medido por indicadores locais e custos unitários. Para maximizar estes indicadores, os departamentos produzem segundo sua capacidade máxima, para estoque, gerando inventário. Não sendo mais os departamentos medidos por custos unitários e indicadores locais, pela introdução da medição de ganho por unidade restritiva, desaparece a resistência a parar máquinas e transportes não-restritivos. Para a introdução do ganho por unidade restritiva ( $G/UnR$ ) como medida de desempenho operacional é necessário calcular este ganho. Para calculá-lo, departamentos e transportadores precisam entender os conceitos de ganho e restrição, a partir de treinamento e conscientização necessários, pois adotam o paradigma *JIC*. A partir deste treinamento e conscientização, os contratos de transporte são naturalmente revisados, considerando em suas bases o conceito da produção sincronizada.

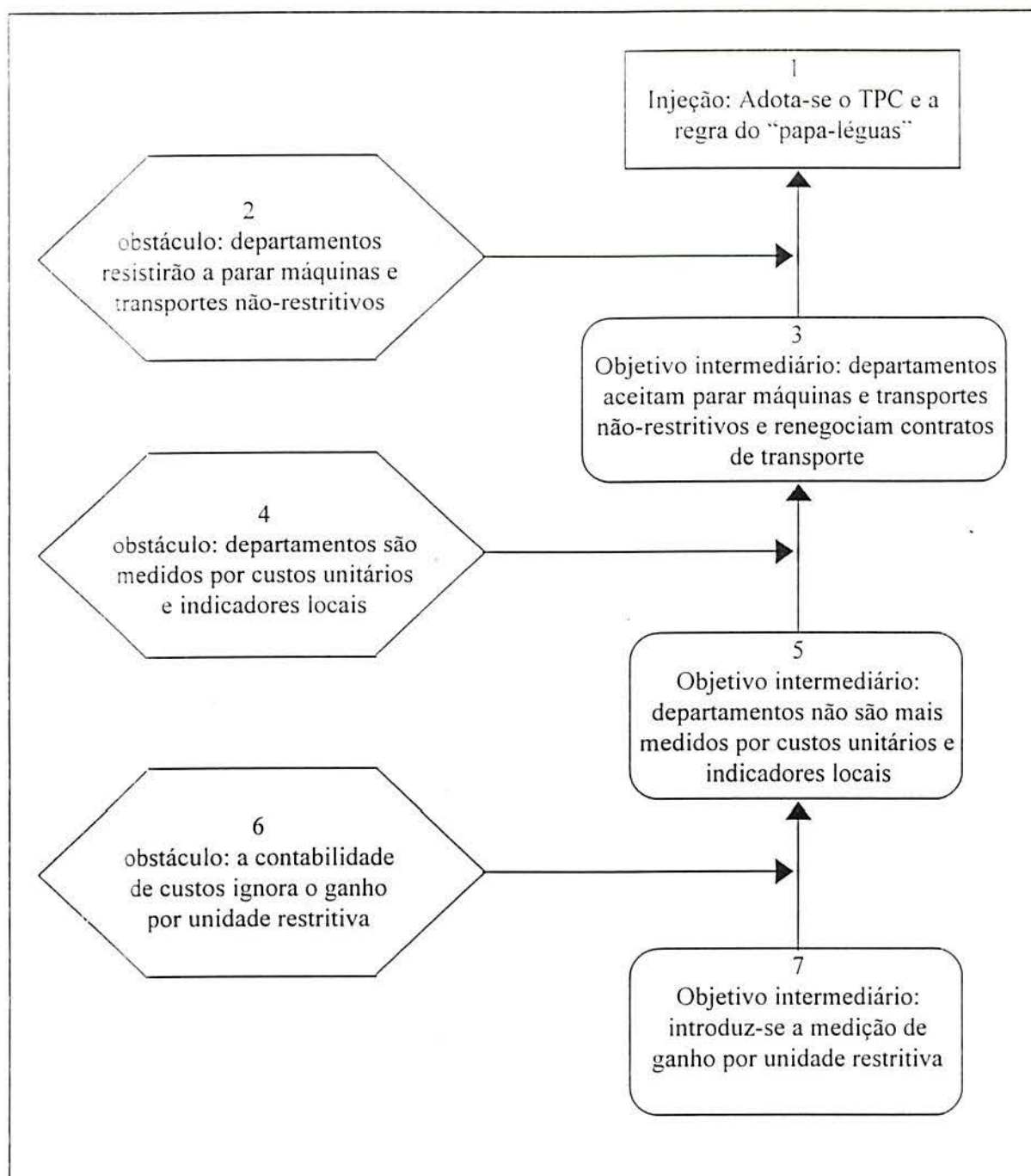


Figura 4-10: Árvore dos pré-requisitos, 1ª parte

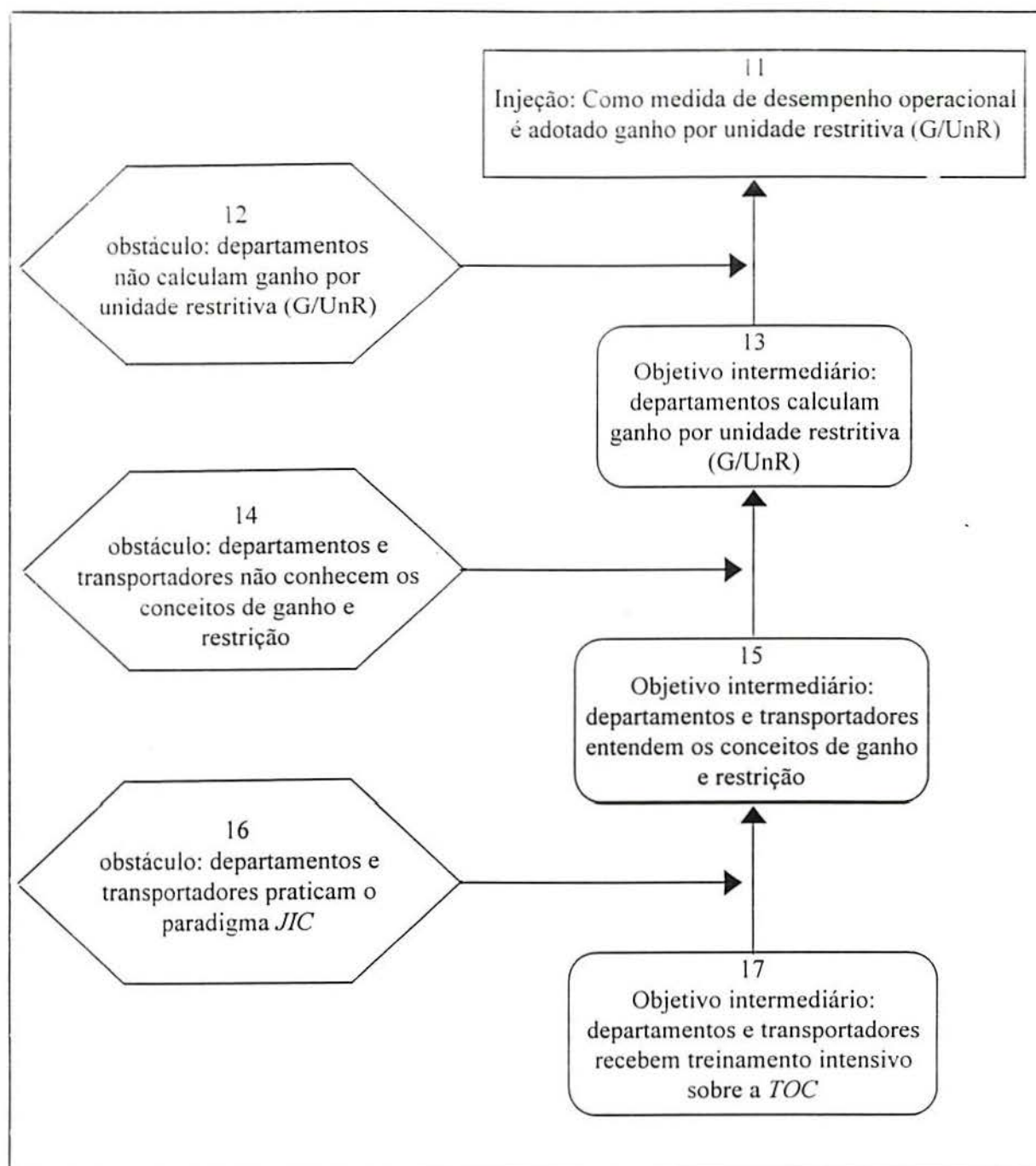


Figura 4-11: Árvore dos pré-requisitos, 2ª parte



### 4.5.3 A ÁRVORE DA TRANSIÇÃO

Conforme NOREEN *et alli* (1994), o propósito da Árvore de Transição é estabelecer um plano de ação para atingir os objetivos intermediários constantes da Árvore de Pré-Requisitos. As ações que fazem parte da Árvore de Transição superarão os obstáculos indicados na Árvore de Pré-Requisitos, garantindo a efetividade das injeções necessária à mudança objetivada, registradas na Árvore da Realidade Futura. O plano de implementação estabelecido na Árvore de Transição opera como segurança, contendo uma seqüência de etapas, que incluem verificações da realidade ao longo do caminho planejado, até a efetiva consolidação da mudança. Se a realidade não se desenvolver como previsto, o processo pode ser modificado a tempo de salvaguardar os objetivos principais. Emprega-se a Árvore de Transição até mesmo para estruturar um plano de negócios (NOREEN *et alli*, 1994).

Nas Figuras 4.12 e 4.13 representam-se as Árvores de Transição referentes aos objetivos intermediários constantes nas Árvores de Pré-Requisitos das Figuras 4.10 e 4.11.

Para alcançar o objetivo final, no qual os departamentos param máquinas e transportes não-restritivos e renegociam contratos de transporte, é necessário iniciar pela primeira ação que é a opção oficial da alta administração pela *TOC*. Como registrado na literatura *TQM* ou *JIT*, o sucesso de qualquer programa que envolva uma mudança cultural importante numa organização depende do envolvimento do primeiro escalão administrativo (NOREEN *et alli*, 1994). Havendo o respaldo oficial, os departamentos se interessarão pela tecnologia *TOC*.

Os departamentos desenvolverão modelos das unidades, a partir dos quais encontrarão valores para seus ganhos e restrições. Serão compreendidos em profundidade os conceitos de ganho e restrição, surgindo as condições para a introdução do ganho por unidade restritiva como padrão de desempenho. Monta-se a contabilidade de ganhos em paralelo à contabilidade de

custos. Com a prática desta nova contabilidade, explicitam-se as vantagens dos conceitos de ganho, inventário e despesas operacionais. Os departamentos então não são mais medidos por custos unitários e indicadores locais. Paralelamente, os transportadores são alertados para perdas por veículos parados, esperando para descarregar. Esta espera ocorre pelas filas formadas pela prática *JIC* de recebimento de matéria-prima nos pátios interno e externo da empresa, associada à impossibilidade de atendimento imediato pelas máquinas descarregadoras de matéria-prima. Estas máquinas são recursos restritivos no processo de descarga de matéria-prima. Em decorrência, os transportadores visualizam possibilidade de lucros crescentes, enquanto os departamentos visualizam possibilidade de diminuição de despesas operacionais. A combinação destes dois fatores torna possível que os departamentos parem as máquinas e transportes não-restritivos e renegociem os contratos de transporte em vigor, segundo a nova visão da produção sincronizada, vantajosa para ambas as partes.

A obtenção dos objetivos intermediários 3 e 13 garante que se obtenha sucesso com as injeções constantes da ARF: a introdução do TPC e da regra do “papa-léguas” e a adoção do ganho por unidade restritiva como medida de desempenho.

GOLDRATT (1999) alerta que, mesmo que todo o planejamento tenha sido executado a contento e todas as dúvidas tenham sido aparentemente dissipadas, ainda assim é possível que receios não-verbalizados persistam. Neste caso, e com todas as possíveis incertezas verificadas, talvez seja necessária a aplicação de um pequeno e controlado golpe de força, que catalize definitivamente a mudança. GOLDRATT (1999) caracteriza esta situação como a “Síndrome do Paraquedista”.

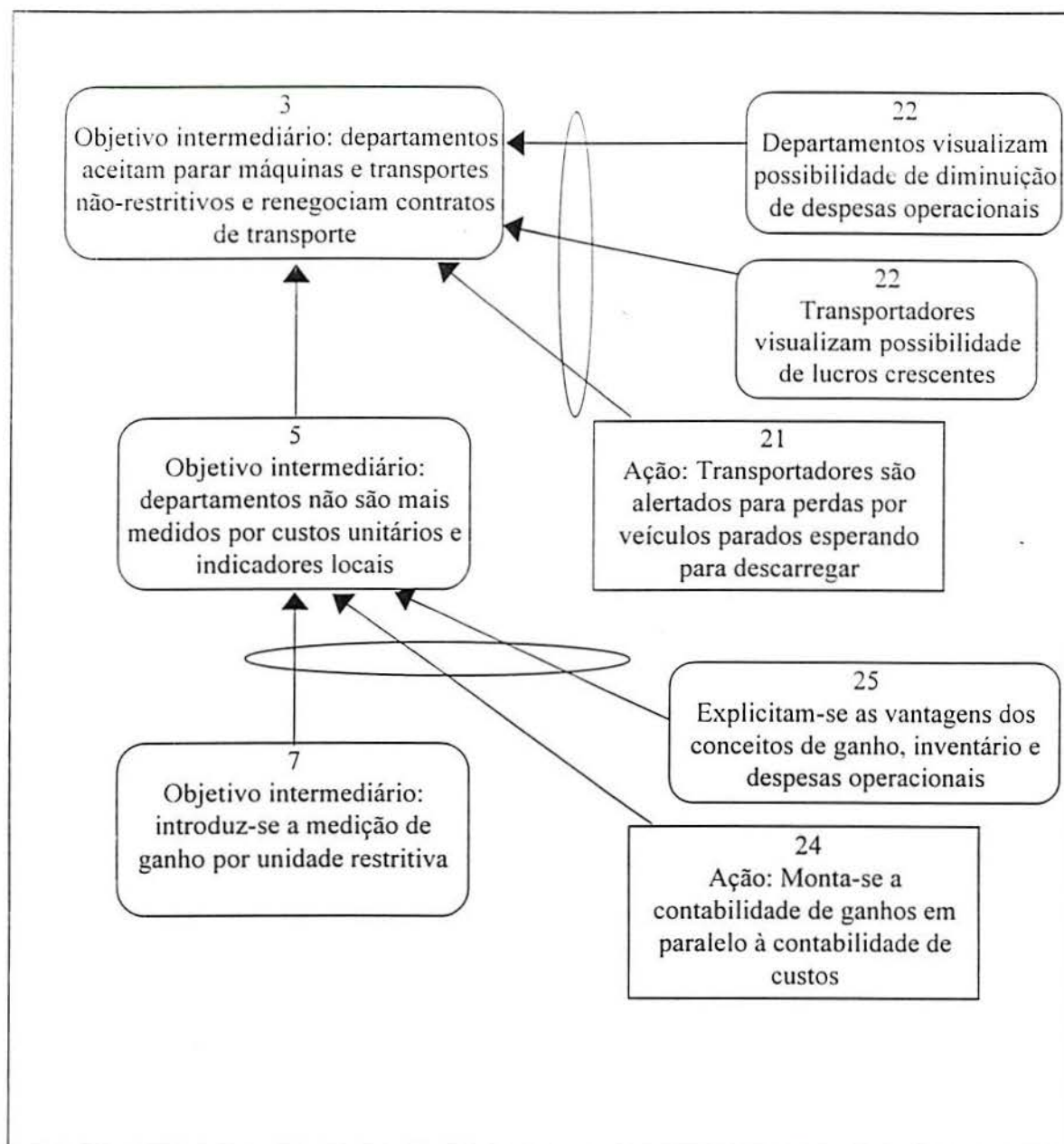


Figura 4-12: Árvore de transição, 1ª parte

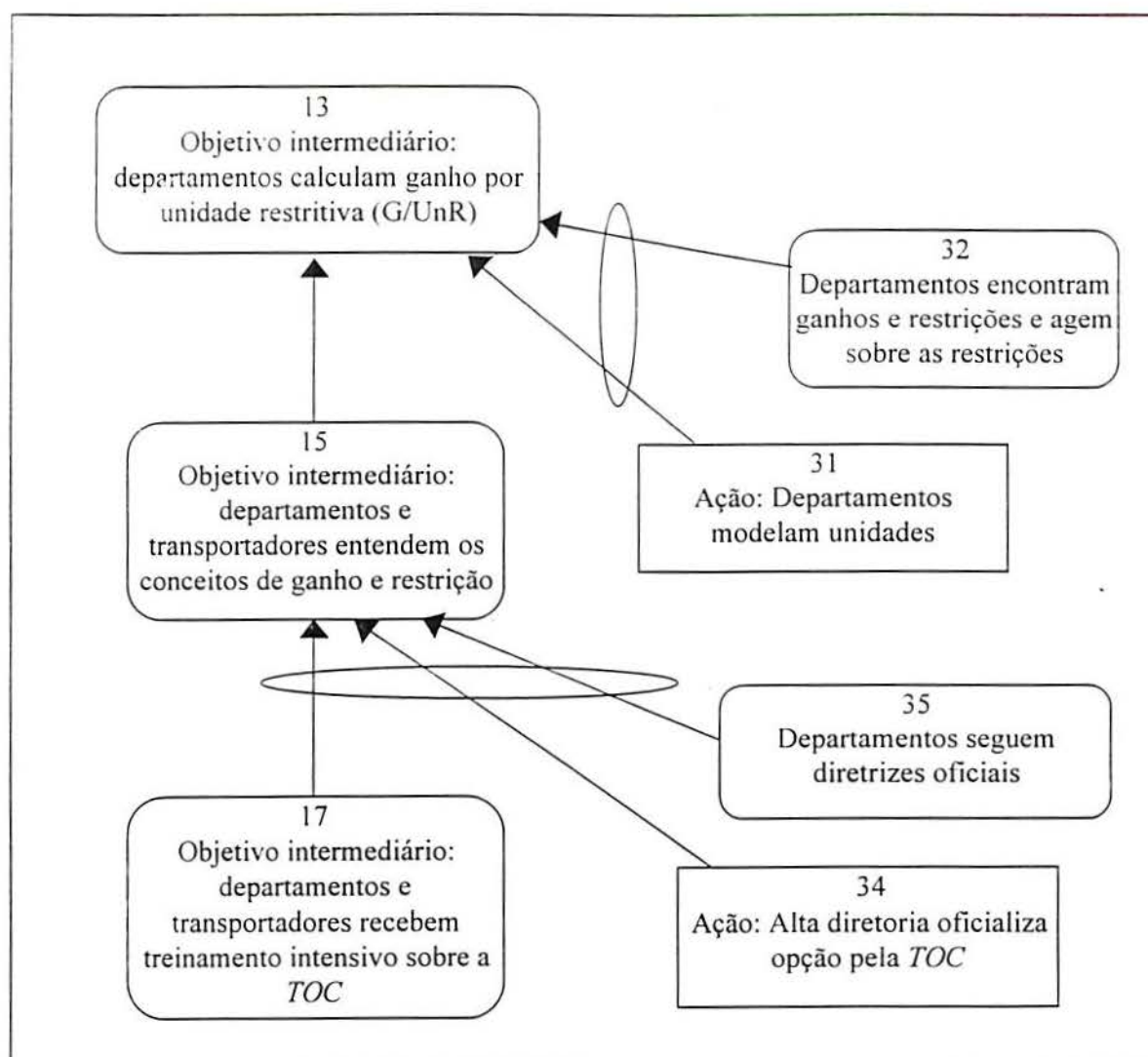


Figura 4-13: Árvore de transição, 2ª parte



#### 4.6 ESTABELECIMENTO DA MELHORIA CONTÍNUA

Alcançado o objetivo inicial proposto, atinge-se um patamar de resultado superior ao atual.

Neste ponto, resulta uma de duas situações:

- a restrição continua no mesmo local, ainda que com resultado global superior;
- a restrição desloca-se de sua posição inicial.

Para o primeiro caso, aplica-se o gerenciamento de pulmão, já descrito, buscando-se as oportunidades de melhorias por processo investigativo<sup>1</sup>, a partir dos desvios no pulmão. Prioriza-se pela importância potencial, identificando soluções para os problemas apontados e implantando-as. Desvios positivos indicam perda de produtividade na restrição e desvios negativos indicam falha na cadeia logística. Cada melhoria implantada possibilita reduzir o pulmão de proteção e o inventário da organização, pois reduz incertezas e variabilidades, reduzindo a necessidade de proteção. É possível inclusive ocorrer aumento de ganho após as sucessivas reduções de inventário, o que pode provocar até o deslocamento da restrição.

Deslocando-se a restrição, está-se diante de uma nova definição da unidade industrial. Aplica-se novamente, desde o início, o processo descrito, com nova configuração do algoritmo TPC, nova definição de pulmão de proteção, nova investigação do nível ótimo de inventário sem que haja perda de ganho e novo plano de ação para a mudança, baseado nas ARF, APR e AT. Ao fim, testa-se a situação, verificando-se se o resultado final evoluiu e se a restrição mudou ou não de posição novamente, aplicando-se o quinto passo do processo de focalização da TOC.

Em qualquer situação, continua-se a aplicar o ciclo, colocando a organização definitivamente em um processo de melhoria contínua.

---

<sup>1</sup> Técnicas de investigação de problemas não são escopo deste trabalho.

## 4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo concluiu-se a proposta de mudança. Pelos cinco passos de focalização da *TOC* se chegou a uma solução: a introdução da produção sincronizada através do algoritmo TPC no sistema produtivo de cimento do grupo Votorantim no RS. Representou-se o sistema pela simbologia da *TOC*, atribuíram-se valores aos processos, localizaram-se os pulmões de proteção e descreveram-se as cordas. Testou-se uma estratégia de sincronização por simulação computacional através de um modelo descritivo da planta Esteio, que contém a restrição do sistema, representaram-se as variáveis de interesse por distribuições estatísticas atribuídas por *software* específico. O modelo avaliou as entregas de produto, para quatro níveis de inventário, após dez replicações para cada nível. Analisaram-se os resultados por *anova* e comparação múltipla de médias, chegando-se a uma conclusão, e os benefícios e implicações da introdução da produção sincronizada. Finalizou-se o capítulo e o processo de gerenciamento da mudança propondo uma visão desejada da empresa e um plano de ação através das ferramentas lógicas da *TOC*: a Árvore da Realidade Futura e as Árvores de Pré-Requisitos e de Transição.

Tem-se então uma proposta para a introdução da produção sincronizada no caso em estudo, com suas decorrências devidamente analisadas. Tem-se também, a partir desta proposta, um modelo gerencial de melhoramento contínuo aplicável à indústria da Propriedade, com foco na redução de inventário, a partir do gerenciamento dos pulmões. Este modelo inclui uma lógica de sincronização da produção, identificando-se os elementos do algoritmo Tambor-Pulmão-Corda e determinando-se o nível aceitável de inventário no pulmão de proteção, por simulação computacional ou empiricamente. O modelo deve reduzir o nível aceitável de inventário, através de um ciclo contínuo de identificação e resolução de problemas.

A seguir fecha-se este trabalho com as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Na sequência, apresentam-se as conclusões deste trabalho e as sugestões para trabalhos futuros, considerando o modelo atual e também ampliando-o.

#### 5.1 CONCLUSÕES

Este trabalho analisou as implicações da introdução da produção sincronizada em uma unidade industrial de processo produtivo de Propriedade contínuo, segundo os princípios da Teoria das Restrições. Considera-se esta abordagem, inserida na abordagem mais ampla da *TOC* como instrumento de gestão da organização, em todas as suas esferas, decisiva para criação e manutenção de um processo de melhorias contínuas, necessário para a sobrevivência e a prosperidade nos dias atuais.

A respeito da competitividade, GOLDRATT (1991, pg. 140) escreve:

“A corrida por uma vantagem competitiva está relacionada ao progresso do homem - ela deve ser contínua e interminável. Sempre podemos fazer mais e melhor. Quando obtemos e aplicamos um conhecimento melhor de como nosso mundo de manufatura funciona, muitos se beneficiam. O progresso na manufatura e o aumento do padrão de vida caminham juntos desde o início da revolução industrial.”



Depreende-se do texto acima que a manutenção do ritmo de crescimento e capacidade de geração de renda e bem-estar social da manufatura está ligada à capacidade de evoluir. E evolução se relaciona com capacidade de mudar. Quando surgem no horizonte alternativas viáveis de mudanças, as organizações podem adotar ao menos três posturas:

- adotar imediatamente a alternativa, assumindo certo risco e auferir os benefícios desta decisão antes da concorrência, criando um diferencial competitivo de larga duração;
- aguardar os acontecimentos, conhecer os resultados concretos de outros *players*, e neles basear a decisão de adesão à alternativa, reduzindo o risco e a vantagem competitiva;
- adotar a alternativa após sua consolidação, como estratégia para não sucumbir perante o ambiente concorrencial modificado.

Entende-se que a adoção da produção sincronizada, por organização industrial competitiva, de modo algum pode ser considerada como vanguarda, não se enquadrando na primeira situação acima descrita. Porém, devido à escassez de casos documentados, se a organização for do tipo industrial de processo produtivo de Propriedade contínuo, pode ser considerada como vanguardista. Relembre-se que, cada vez mais, os intervalos de tempo entre mudanças se estreitam, aumentando o custo da oportunidade perdida. Mantidas as devidas restrições, inerentes às diferenças entre as indústrias de Forma e Propriedade, principalmente no que tange a perdas por chaveamento excessivo em processos térmicos e termoquímicos, conclui-se que é possível transferir para o ambiente de Propriedade a conceituação da manufatura sincronizada adotada no ambiente de Forma, e auferir as vantagens desta decisão.

Analisou-se um processo de moagem industrial que consome até 120 toneladas por hora de matéria-prima e é alimentado por uma cadeia de suprimentos que pode descarregar até 200 toneladas por hora. Entre a descarga e a moagem há, como pulmão de proteção, um hangar de matérias-primas, silos para cinza e área de estocagem a céu aberto. Imagine-se que se queira



adotar a produção sincronizada, e no primeiro dia se tenha consumido matéria-prima a um ritmo de 100 toneladas por hora, descarregada a um ritmo de 200 toneladas por hora. No segundo dia, a descarga deverá ser interrompida, para que, no horizonte de dois dias, haja sincronismo entre produção e entrada de matéria-prima. Portanto, a menos de um estoque de segurança no pulmão, gerenciado para a redução, haverá sincronismo entre entrada e saída do sistema, tornando-o mais leve e reduzindo-se as despesas operacionais.

Destaque-se que, na indústria de Propriedade, as despesas operacionais avultam a milhares e milhões de dólares, sendo superiores aos valores equivalentes da indústria da Forma.

A investigação comprovou, com a eficácia inerente ao processo adotado, que é possível estabelecer, em uma unidade fabricante de dois tipos de cimento, o seguinte procedimento:

- modelar logicamente o sistema produtivo, estabelecendo roteiros de produção e suprimentos, e atribuindo a cada entidade seu valor nominal de capacidade;
- identificar as restrições do sistema, por análise dos roteiros e experimentação prática baseada na rotina gerencial da organização;
- focar a investigação na restrição que potencialmente oferece maior chance de ganho;
- coletar dados referentes ao sistema que envolve esta restrição, por um período adequado para análise (no caso atual, 60 dias);
- modelar matematicamente estes dados, através de ferramenta estatística de *software*, obtendo distribuições de frequência que descrevam o conjunto de dados coletados;
- construir um modelo simulável computacionalmente, que descreva o sistema em análise;
- testar o modelo e corrigi-lo, até que repita em laboratório as condições encontradas no gerenciamento da produção real;
- determinar um pulmão de proteção para o sistema;

- simular o sistema no nível atual do pulmão, e obter os dados de entrega e faltas de produtos, associados ao ganho da organização;
- repetir o experimento para vários níveis reduzidos de pulmão, conforme um critério (adotou-se no caso  $\ell = n\mu + 3\sigma$ , onde  $n$  é o número de dias a serem protegidos,  $\mu$  é a média e  $\sigma$  o desvio-padrão do consumo diário do pulmão);
- testar pela ferramenta estatística *Anova* e por comparação múltipla de médias a partir de que ponto o ganho foi afetado pela redução no limite máximo de inventário;
- adotar como limite máximo permissível o último valor no qual o ganho não foi afetado.

O procedimento descrito estabelece um novo modo de promover a melhoria contínua, via o gerenciamento do pulmão. Estabelecido um limite máximo de pulmão, gerencia-se estrategicamente, tentando reduzir este limite. Repete-se a simulação, verificando-se a eficácia da medida antes de implementá-la no chão-de-fábrica. Como os valores investidos na indústria de Propriedade são elevados, qualquer modificação ou investimento, cujo resultado esperado não ocorra, acarreta perdas relevantes.

Conclui-se este trabalho analisando as repercussões desta mudança de gerenciamento.

A produção sincronizada reduz inventário, objetivando reduzir despesas operacionais, aumentar ganho e melhorar fluxo de caixa. A redução nas despesas operacionais ocorre pela racionalização dos transportes internos, na qualidade da matéria-prima e na redução de problemas ambientais. O ganho aumentará pela eliminação de dois fatores inseridos no modelo de entregas: as paradas na produção por falta de matéria-prima, causadas por defeitos na ponte rolante, e períodos de baixa produtividade, causados por emprego de matéria-prima contaminada ou inadequada por exposição ao tempo. Outros aumentos de ganhos surgirão indiretamente com a redução dos tempos de atravessamento gerais, inclusive administrativos.

O fluxo de caixa melhorará com a postergação das despesas destinadas a antecipar a produção e antecipação das receitas devidas a aumentos de ganho.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho simulou uma situação particular, na qual foram estabelecidos limites físicos e lógicos. Para investigações futuras, sugere-se a ampliação destes limites, sempre com o apoio da técnica de simulação computacional.

São as seguintes as sugestões para trabalhos futuros, dentro do modelo atual:

1. Individualizar no modelo da moagem as paradas e perdas de produtividade por problemas de alimentação e simular os acréscimos de ganho oriundos de sua remoção;
2. Modificar a simulação, considerando não mais limitação fixa de inventário, porém limitação dinâmica, baseada nas expectativas de produção e entrega de cimento, caracterizando a sincronização total da produção;
3. Incluir o fluxo de caixa na simulação.

Considerando um modelo mais amplo, sugere-se:

1. Estender a conceituação desenvolvida para outras indústrias de Propriedade, como a siderurgia, química, petroquímica, vidreira, alimentícia, farmacêutica e cerâmica;
2. Simular o fluxo de caixa para estes outros processos produtivos de Propriedade.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AARS: A logística empresarial, <http://www.aars.com.br/biblio03.htm>, 1999
2. ANTUNES JR. J. A. Valle: *Notas de aula, Sistema de Produção com estoque zero: o modelo japonês JIT/TOC*, Mestrado em Engenharia da Produção, PPGE, UFRGS, 1994
3. ANTUNES JR. J. A. Valle: *Notas de aula, Sistema Toyota de Produção*, Mestrado em Engenharia da Produção, PPGE, UFRGS, 1998
4. BROWN, Robert, *Statistical forecasting for inventory control*, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1959, 232p.
5. CHATFIELD. Christopher, *Statistics for technology*, Chapman and Hall, London, 1978, 370p.
6. CHIAVENATTO, Idalberto, *Os novos paradigmas*, Ed. Atlas, S. Paulo, 1996
7. COOK, David, A simulation comparison of traditional, JIT and TOC manufacturing systems in a flow shop with bottlenecks, *Production and Inventory Managements Journal*, first quarter, 1994
8. CORBETT NETO, Thomas: *Contabilidade de ganhos, A nova contabilidade gerencial de acordo com a Teoria das restrições*, Ed. Nobel, S.Paulo, 1997, 191p.
9. CORBETT NETO, Thomas: Teoria das restrições: Introdução, [http://www.corbett-toc.com/pot/pag\\_03.htm](http://www.corbett-toc.com/pot/pag_03.htm), 1998.
10. CORIAT, Benjamin: *Pensar pelo avesso*, Ed. Revan, R. Janeiro, 1994, 209p.
11. CORREA, Henrique e GIANESI, Irineu: *Just-in-Time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico*, Ed. Atlas, S. Paulo, 1994, 183p.
12. FALCONI, Vicente: *Gerência da qualidade total*, B. Horizonte, Fundação Christiano Ottoni, 1992, 229p
13. FARENZENA, Hélio: *Fabricação de Cimento Portland, Aspectos gerais*, Edição Cimentec, 1995
14. FARENZENA, Hélio: *Potencial técnico das cinzas volantes na fabricação de Cimento Portland*, Edição Cimentec, 1995B
15. FARENZENA, Hélio: *Manual técnico de fabricação de Cimento Portland*, Edição



Cimento e Mineração Bagé. 1990

- 16.FOMINAYA, F: Modernización del sistema de control en plantas de cemento. *La automatización y el control del proceso de fabricación del cemento, Cemento-Hormigon*, Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1987
- 17.GITMAN, Lawrence. *Princípios de administração financeira*, S. Paulo, Ed. Harper & Row, 1997, 841p.
- 18.GHINATTO, Paulo: *Sistema Toyota de Produção: Mais do que simplesmente Just-in-Time*, EDUCS, Caxias do Sul, 1996, 177p.
- 19.GOLDRATT, Eliyahu: *Theory of constraints*, Great Barrington, North River Press, 1990, 162 p.
- 20.GOLDRATT, Eliyahu: *A corrida pela vantagem competitiva*, S. Paulo, Iman, 1991.
- 21.GOLDRATT, Eliyahu: *A síndrome do palheiro: garimpando em um oceano de dados*, S. Paulo, Educator, 1992, 243p.
- 22.GOLDRATT, Eliyahu: *A corrente crítica*, S. Paulo, Educator, 1997, 260p.
- 23.GOLDRATT, Eliyahu: *Mais do que sorte...Processos de raciocínio*, S. Paulo, Educator, 1994, 303p.
- 24.GOLDRATT, Eliyahu: Computerized shop floor scheduling, *Int. J. Prod vol. 26, N°3* 1988
- 25.GOLDRATT, Eliyahu: *Goldratt satellite program*, Avraham Goldratt Institute do Brasil, 1999
- 26.HANSEN, Peter Bent. *Um método multicriterial de avaliação e gestão de processos produtivos da indústria de propriedade contínua*, Dissertação de mestrado PPGE, UFRGS, Porto Alegre, 1996, 217p.
- 27.HOLMBLAD L. P. & ØSTERGAARD, J.-J.: Control of a cement kiln by fuzzy logic, *FLS review*, n° 67, FL&Smidth Co, Copenhagen, 1982
- 28.HUBERMAN, Leo: *História da riqueza do homem*, R. Janeiro, LTC, 1986
- 29.ISHIKAWA, Kaoru: *Controle de qualidade total*, R. Janeiro, Ed. Campus, 1993, 221p.
- 30.KNECHT, J. & RANZE, W.: Konstrutive Merkmale der größten Zementmahlanlage der Welt, *ZKG Zement-Kalk-Gips International Forschung-Herstellung-Verwendung*, N°7/1991, Bauverlag GmbH, Wiesbaden, 1991
- 31.LISCHEFSKA, John: Supply chain optimization: new tool helps firms work better, *AB Journal*, Putman Publishing Company, Itasca, Illinois, september, 1998

- 32.MARTINS, Gustavo: *Notas de aula, Histórico e pensadores da qualidade*, Curso de especialização em Gestão da Qualidade, UNISINOS, 1997
- 33.MENEZES, Alex & RODRIGUES, Luis Henrique, *Breves considerações sobre a flexibilidade e o grau de especialização técnica das ferramentas de simulação computacional*, PPGEU-UFRGS, Porto Alegre, 1999
- 34.MONKS, Joseph: *Administração da Produção*, S. Paulo, McGraw Hill, 1987, 502p.
- 35.MOURA, Eduardo: *As sete ferramentas gerenciais da qualidade: implementando a melhoria contínua com maior eficácia*, S. Paulo, Makron Books, 1992, 118p.
- 36.NOREEN, Eric et alli, *A teoria das restrições e suas implicações na contabilidade gerencial*, S. Paulo, Educator, 1995, 184p.
- 37.PIERACCIANI, Valter: *Notas de aula, Desenvolvimento e implantação de sistemas de qualidade*, Curso de especialização em Gestão da Qualidade, UNISINOS, 1997
- 38.PORTER, Michael: *Estratégia Competitiva. Técnicas para análise de indústrias e da concorrência*, S. Paulo, Campus, 1986
- 39.OHNO, T.: *Sistema Toyota de Produção: Além da produção em alta escala*, P. Alegre, Ed. Artes Médicas, 1996, 151 p.
- 40.OSTMEIER, Bernard: *Control de procesos con inteligencia distribuida*, *Cemento-Hormigon*, noviembre/1983, Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1983
- 41.PANTANO, Lynne: *Concrete jungle*, *AB Journal*, Putman Publishing Company, Itasca, Illinois, june, 1997
- 42.RIBEIRO, José Luis & TEN CATEN, Carla: *Notas de aula, Projetos de experimentos*, Mestrado em Engenharia da Produção, PPGEU, UFRGS, 1999
- 43.RIBEIRO, José Luis, ECHEVESTE, Márcia & WERNER, Liane: *Notas de aula, Probabilidade e estatística*, Mestrado em Engenharia da Produção, PPGEU, UFRGS, 1998
- 44.RODRIGUES, Luis Henrique: *Apresentação e análise crítica da Tecnologia da Produção Otimizada OPT e da Teoria das Restrições TOC*, PPGEU, UFRGS, Porto Alegre, 1998
- 45.RODRIGUES, Luis Henrique: *Notas de aula, PCP I*, Mestrado em Engenharia da Produção, PPGEU, UFRGS, 1998B
- 46.RODRIGUES, Luis Henrique: *Notas de aula, PCP*, Mestrado em Engenharia da Produção, PPGEU, UFRGS, 1999



47. RODRIGUES, Luis Henrique: *Developing an approach to help companies synchronise manufacturing*, Tese de doutorado, Department of Management Science, University of Lancaster, UK, 1994
48. ROSE, D. & KUPPER, D.: Investigation into adsorptive and catalytic flue gas cleaning of exhaust gases from cement-plants, *ZKG Zement-Kalk-Gips International Forshung -Herstellung-Verwendung*, N°7/1991, Wiesbaden, 1991
49. SAMSON, Danny: *Manufacturing and operations strategy*, Brunswick, Prentice Hall, 1991, 499p.
50. SANCHEZ, Isidro et alli: *Moagem & moinhos*, Edição Indústrias Votorantim, 301p.
51. SCHMIEDGEN, G. & MAGALLON, R.: Reflexiones sobre la automatización de las fábricas de cemento a la vista de la evolucion histórica y de las experiencias prácticas, *Cemento-Hormigon*, noviembre/1983, Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1983
52. SEKINE, K. et alli: Durchsatzsteuerung von Mahlanlagen durch Anwendung des CKP-Systems, *ZKG Zement-Kalk-Gips International Forshung-Herstellung-Verwendung*, N°7/1991, Wiesbaden, 1991
53. SHANK, John & GOVINDARAJAN, Vijay: *Gestão estratégica de custos*, R. Janeiro, Ed. Campus, 1995, 341p.
54. SHINGO, Shigeo: *Sistemas de produção com estoque zero: O sistema Shingo para melhorias contínuas*, P. Alegre, Bookman, 1996, 380p.
55. SHINGO, Shigeo: *O sistema Toyota de produção: Do ponto de vista da engenharia de produção*, P. Alegre, Bookman, 1996B, 291p.
56. SLACK, Nigel et alli: *Administração da produção*, Ed. Atlas, S. Paulo, 1997
57. SLOAN JR., Alfred: *Minha vida na General Motors*, Distribuidora Record, R. Janeiro, 1965, 494p.
58. SPEARMAN, Mark: On the theory of constraints and the Goal System, *Production and Operations Managements* vol. 6, N°1. spring 1997
59. VAAS, M. & KROGBEUMKER, H.: Das mühlenregelungssystem MCE bei Phoenix Zement in Beckum, *ZKG Zement-Kalk-Gips International Forshung-Herstellung-Verwendung*, N°9/1994, Bauverlag GmbH, Wiesbaden, 1994
60. VACCARO, Guilherme L. R., *Modelagem e análise de confiabilidade de sistemas*, Dissertação de mestrado PPGE, UFRGS, Porto Alegre, 1997, 209p.
61. YUKI, Mauro: *Notas de aula, Gestão da qualidade total*, Curso de especialização em Gestão da Qualidade, UNISINOS, 1997

62. WAGNER, Harvey: *Pesquisa operacional*, S. Paulo, Ed. PHB, 1986
63. WALTER, Cláudio: *Notas de aula, PCP II*, Mestrado em Engenharia da Produção, PPGEPP, UFRGS, 1998
64. WELZ, R: *Modernos sistemas de automación de procesos para la industria del cemento, La automatización y el control del proceso de fabricación del cemento, Cemento-Hormigon*, Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1987
65. WOMACK, James et alli: *A máquina que mudou o mundo*, R. Janeiro, Ed. Campus, 1992, 347p.



## ANEXO A:DADOS E CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE DO CIMENTO

A seguir listam-se as diversas composições de cimento, diferenciados pela capacidade de resistência a compressão, em várias idades, medida em MegaPascais (FARENZENA, 1995).

Sigla	Classe de resistência	Matérias-primas	resistência MP a 3 dias	resistência MP a 7 dias	resistência MP a 28 dias
<b>CP-I</b> <b>NBR-5732</b>	25	100% Clínquer + gesso	> 8	>15	>25
	32		>10	>20	>32
	40		>15	>25	>40
<b>CP-I-S</b> <b>NBR-5732</b>	25	95-99% Clínquer + gesso 1-5% calcário	> 8	>15	>25
	32		>10	>20	>32
	40		>15	>25	>40
	25	56-94% Cl + Ge	> 8	>15	>25
<b>CP-II-E</b>	32	0-10% calcário	>10	>20	>32
<b>NBR-11578</b>	40	6-34% escória AF	>15	>25	>40
<b>CP-II-Z</b> <b>NBR-11578</b>	25	76-94% Cl + Ge 0-10% calcário 6-14% pozolana	> 8	>15	>25
	32		>10	>20	>32
	40		>15	>25	>40
<b>CP-II-F</b> <b>NBR-11578</b>	25	90-94% Clínquer + gesso 6-10% calcário filler	> 8	>15	>25
	32		>10	>20	>32
	40		>15	>25	>40
	25	25-65% Cl + Ge	> 8	>15	>25
<b>CP-III</b>	32	35-70% escória AF	>10	>20	>32
<b>NBR-5735</b>	40	0-5% calcário	>15	>25	>40
<b>CP-IV</b> <b>NBR-5736</b>	25	45-84% Cl + Ge 15-50% pozolana 0-5% calcário	> 8	>15	>25
	32		>10	>20	>32
	-		-	-	-
<b>CP-V-ARI</b> <b>NBR-5733</b>	Alta resistência inicial	95%-100% clínquer + gesso	1 dia >14	2 dias > 24	3 dias > 34

Quadro A-5-1: Tipos, classes e composição dos cimentos Portland

Segundo SANCHES *et alli* e FARENZENA (1990), as características da qualidade do cimento são:

- **Resistência:** É a propriedade de, após hidratado, resistir a forças de tração ou compressão. Varia conforme a idade do cimento, podendo levar até 360 dias para atingir a resistência final. Relaciona-se com a uniformidade da distribuição granulométrica. Quanto mais uniforme, maior a resistência a uma certa idade.
- **Pega:** É o processo pelo qual o cimento, após entrar em contato com a água, solidifica-se. Considera-se o tempo inicial e o tempo final de pega como o tempo para o início e fim do endurecimento.
- **Trabalhabilidade:** Relaciona-se com o percentual de água e o esforço para a preparação do concreto. Quanto mais fino, mais rápido se hidrata e mais rápido atinge a resistência necessária para a fixação da estrutura.
- **Calor de hidratação:** É o calor liberado quando do processo de pega. Para grandes volumes de concreto, pode haver expansões e trincas, se não controlado.
- **Cor:** Varia conforme o teor de minério de ferro na mistura crua que originou o clínquer e do teor e da qualidade das pozolanas e cinzas adicionadas na moagem.
- **Estabilidade volumétrica:** O cimento pode apresentar expansão ou retração durante a concretagem, gerando esforços adicionais. A expansão está ligada à fração clínquer e é causada por cal livre (CaO). A retração está ligada ao excesso de água necessário na concretagem e, portanto, à distribuição granulométrica do pó.
- **Estabilidade química:** Capacidade de resistir aos agentes químicos como água do mar, sulfatos, etc. É prevenida por adição de terras pozolânicas.

Estas características são expressas pelos seguintes indicadores de qualidade:

- **Medição de resistência:** Moldam-se corpos de prova e ensaia-se destrutivamente a compressão a 1, 3, 7 e 28 dias, em laboratório. A norma estabelece os limites para cada caso. Relaciona-se com o teor de clínquer e cinza.
- **Tempo de pega:** Através do teste da agulha de Vicat, um corpo de prova é submetido ao processo de endurecimento. De acordo com o grau de movimentação da agulha, são determinados os momentos de início e fim de pega.
- **Perda ao fogo:** Aquece-se a amostra, medindo o peso antes e depois. A perda relaciona-se com o teor de calcário, por ser o único componente parcialmente volatilizável.
- **SO<sub>3</sub>:** Relaciona-se com o teor de gesso. É medido por laboratório espectrográfico portátil e regressões matemáticas que, a partir dos elementos indicados por via espectral, calculam o teor deste e de outros compostos de menor interesse.
- **R.I.:** Através de titulação de uma solução-padrão, mede-se o R.I. (resíduo insolúvel). Está relacionado matematicamente com o teor de cinza.
- **Finura:** Indica o % retido em peneiras de controle #200 e #325 ( malhas/sq inch). Relaciona-se com a velocidade de separação do circuito de moagem.
- **Curva de granulometria:** Indica os % retidos em um conjunto de peneiras, colocando-se os resultados em papel log-log. Oferece o perfil da distribuição granulométrica do produto. Também pode ser obtido por medidor granulométrico a laser.
- **Blaine:** Determina a superfície específica do cimento em cm<sup>2</sup>/g ou m<sup>2</sup>/kg. Está relacionado com a distribuição granulométrica da partícula e em conjunto com a finura é o indicador mais importante da qualidade do cimento. Emprega método laboratorial via úmida, com célula de permeabilidade e medição do tempo de difusão de uma solução através de uma amostra do produto.



As características da qualidade mais relevantes para o cliente são o tempo de pega, medido em minutos e a resistência à compressão, medida em megapascals (MP). A técnica de fabricação de cimento informa que o tempo de pega está relacionado principalmente com o teor de  $\text{SO}_3$  e a resistência à compressão está relacionada principalmente com a finura. Ambas as características sofrem influência do R.I., vinculado ao teor de cinza *fly-ash*.

A técnica de fabricação de cimento também informa que a perda ao fogo, relacionada ao teor de calcário, dentro dos limites determinados por norma, não afeta a resistência à compressão, funcionando apenas como efeito *filler*, proporcionando volume à mistura.

A adição de cinza é fortemente estratégica, pois, ao substituir o clínquer, proporciona volume à mistura, agregando o efeito pozolânico. Este efeito aumenta a resistência à compressão nas idades elevadas (próximas a 360 dias), tendo como contra-efeito a redução desta mesma resistência em idades baixas. Esta substituição é interessante por ser a cinza mais barata que o clínquer. Fortemente sazonal, é afetada pelo regime pluvial da região, que regula a entrada e saída de usinas geradoras de energia elétrica a carvão. A falta de cinza é minimizada pelo emprego da pozolana butiá.